



TUGAS AKHIR - TE 141599

*ECONOMIC DISPATCH PADA SISTEM TRANSMISI JAWA-BALI 500 kV BERDASARKAN RUPTL TAHUN 2015-2024 MENGGUNAKAN METODE TIME VARIYING ACCELERATION BERBASIS PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (TVAC-PSO)*

Tommy Andre Oktawijaya  
2214105046

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D  
Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE 141599

ECONOMIC DISPATCH At JAVA-BALI 500 kV  
TRANSMISSION SYSTEM BASED ON RUPTL 2015-  
2024 USING TIME VARYING ACCELERATION BASED  
ON PARTICLE SWARM OPTIMIZATION METHOD  
(TVAC-PSO)

Tommy Andre Oktawijaya  
2214105046

Advisor  
Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D  
Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty Of Industry Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2016

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul ***Economic Dispatch pada Sistem Transmisi Jawa-Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL Tahun 2015-2024 Menggunakan Metode Time Varying Acceleration berbasis Particle Swarm Optimization (PSO)*** adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 26 Juni 2016

Tommy Andre Oktawijaya  
Nrp. 2214105046

***Halaman ini sengaja dikosongkan***



**ECONOMIC DISPATCH PADA SISTEM TRANSMISI  
JAWA-BALI 500 kV BERDASARKAN RUPTL TAHUN  
2015-2024 MENGGUNAKAN METODE TIME  
VARIYING ACCELERATION BERBASIS PARTICLE  
SWARM OPTIMIZATION (PSO)**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**(Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D)  
NIP. 194907151974121001**

**(Ir. Ni Ketut Aryani, MT.)  
NIP. 196509011991032002**

**SURABAYA  
JUNI, 2016**



***ECONOMIC DISPATCH PADA SISTEM TRANSMISI  
JAWA-BALI 500 kV BERDASARKAN RUPTL  
TAHUN 2015-2024 MENGGUNAKAN METODE TIME  
VARIYING ACCELERATION BERBASIS PARTICLE  
SWARM OPTIMIZATION (PSO)***

**Nama Mahasiswa** : Tommy Andre Oktawijaya  
**Nrp** : 2214105046  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D  
**NIP** : 194907151974121001  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.  
**NIP** : 196509011991032002

**ABSTRAK**

Dengan proyeksi pertumbuhan ekonomi negara Republik Indonesia sebesar 6 hingga 7 persen pertahun serta pusat kegiatan ekonomi dan industri masih berada di kawasan Jawa – Bali. Dalam lima tahun kedepan penambahan kapasitas sebesar 35.000 MW menjadi suatu kebutuhan, jumlah tersebut telah dikukuhkan dalam dokumen RUPTL PLN 2015-2024. Dalam RUPTL tersebut disebutkan bahwa pada sistem jawa bali akan ditambah unit pembangkitnya. Dengan adanya penambahan unit pembangkit serta pertumbuhan beban, akan mengubah biaya pembangkitan energi listrik, maka perlu dicari solusi untuk mengoperasikan unit-unit pembangkit secara optimal dengan menekan biaya bahan bakar seminimum mungkin yang disebut juga dengan *economic dispatch* (ED), banyaknya unit pembangkit termal tentu menimbulkan permasalahan lingkungan akibat emisi NO<sub>x</sub> yang disebut juga dengan *economic emission dispatch* (EED). Pada tugas akhir ini data yang digunakan tanpa mempertimbangkan kerugian transmisi. Permasalahan *economic dispatch* diselesaikan dengan menggunakan metode *Time Varying Acceleration Berbasis Particle Swarm Optimization* (PSO). Dari hasil simulasi didapatkan ED maupun EED menggunakan TVAC-PSO menunjukkan bahwa metode ini lebih unggul dari PSO konvensional, selain menunjukkan waktu konvergen yang relatif lebih cepat. Program akan disimulasi dan ditampilkan menggunakan *software* Matlab

Kata Kunci : Economic Dispatch, PSO, PSOTVAC, Matlab

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **ECONOMIC DISPATCH ON 500 kV JAVA-BALI TRANSMISSION SYSTEM BASED ON RUPTL 2015- 2024 USING TIME VARIYING ACCELERATION BASED ON PARTICLE SWARM OPTIMIZATION METHOD (PSO)**

**Student Name** : Tommy Andre Oktawijaya  
**Student ID** : 2214105046  
**Supervisor I** : Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D  
**NIP** : 194907151974121001  
**Supervisor II** : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.  
**NIP** : 196509011991032002

## **ABSTRACT**

With economic growth projections of the Republic Indonesia by 6 to 7 percent per year as well as the center of economic and industrial activity still in the area of Java - Bali. In the next five years by 35,000 MW additional capacity becomes a necessity, that number has been confirmed in the document RUPTL PLN 2015-2024. In RUPTL mentioned that the Java Bali system will be added some of generator unit. With the addition of generating units and load growth, will change the cost of generating electric energy, it is necessary to find a solution to operate the generating units optimally to reduce the cost of fuel to a minimum which is also called the economic dispatch (ED), the number of units of thermal power plant would menibulkan environmental problems due to emissions of NOx emission is also called the economic dispatch (EED). The data that used in this final project are without considering transmission losses. Economic dispatch problems solved using the method called Time varying Acceleration - Based on Particle Swarm Optimization (PSO). From the simulation results obtained using the EED or ED with TVAC-PSO shows, that this method is superior to the conventional PSO, in addition to showing the time convergent relatively faster. The program will be simulated and displayed using Matlab software

**Key word** : Economic Dispatch, PSO, PSOTVAC, Matlab



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Permasalahan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metode Penelitian .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
1.7 Relevansi.....	4

### BAB II *ECONOMIC DISPATCH*

2.1 Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.1.1 Pembangkit Listrik .....	6
2.1.2 Transmisi .....	6
2.1.3 Distribusi .....	6
2.1.4 Beban.....	7
2.2 Karakteristik Unit Pembangkit.....	7
2.2.1 Karakteristik <i>Input-Output</i> Pembangkit Termal.....	8
2.2.2 Karakteristik <i>Input-Output</i> Pembangkit Hidro .....	11
2.2.3 Permasalahan <i>Economic Dispatch</i> (ED).....	12
2.3 Polutan Hasil Pembakaran Batubara.....	13
2.4 <i>Economic Emission Dispatch</i> (EED) .....	13
2.4.1 Fungsi Tujuan Ekonomi .....	14
2.4.2 Fungsi Tujuan Emisi .....	15
2.5 <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO).....	15
2.5.1 Prinsip Kerja <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO) .....	16



2.5.2	Istilah dalam <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO) .....	18
2.5.3	<i>Time Varying Acceleration</i> berbasis <i>Particle Swarm Optimization</i> (TVAC-PSO).....	19

### **BAB III OPTIMASI MENGGUNAKAN *TIME VARYING ACCELERATION* BERBASIS PSO**

3.1	Algortima Pengerjaan Tugas Akhir .....	20
3.2	Sistem IEEE 30 Bus .....	21
3.3	Sistem Transmisi Jawa-Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL Tahun 2015-2024.....	23
3.4	Optimasi ED Menggunakan TVAC-PSO .....	26
3.5	Optimasi EED Menggunakan TVAC-PSO.....	28
3.6	TVAC-PSO untuk Menyelesaikan ED .....	30
3.6.1	Inisialisasi kecepatan .....	30
3.6.2	Evaluasi <i>Fitness</i> .....	31
3.6.3	Penentuan Posisi Terbaik Lokal dan Global.....	31
3.6.4	Pembaruan nilai kecepatan partikel .....	31
3.6.4	Pembatas Pergerakan Partikel .....	32
3.7	TVAC-PSO untuk Menyelesaikan EED .....	32
3.7.1	<i>Multiobjective</i> Menggunakan Metode <i>Weight Sum</i> .....	32

### **BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS**

4.1	Simulasi Penyelesaian <i>Economic Dispatch</i> .....	35
4.2	Simulasi ED pada Sistem IEEE 30 Bus .....	35
4.2.1	Hasil Simulasi ED pada sistem IEEE 30 Bus .....	35
4.3	Simulasi EED pada Sistem IEEE 30 Bus .....	36
4.3.1	Hasil Simulasi EED pada sistem IEEE 30 Bus .....	36
4.4	Simulasi ED pada sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL Tahun 2015-2024 .....	37
4.4.1	Hasil Simulasi ED pada sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL Tahun 2015-2024 .....	38
4.5	Simulasi EED pada sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL Tahun 2015-2024 .....	38
4.5.1	Kasus 1 ( $W_c = 1$ ; $W_e = 0$ ).....	39
4.5.2	Kasus 2 ( $W_c = 0.5$ ; $W_e = 0.5$ ).....	40
4.5.3	Kasus 3 ( $W_c = 0$ ; $W_e = 1$ ).....	42
4.6	Hubungan Biaya Bahan Bakar dan Emisi .....	43



## **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>47</b>
-----------------------------	-----------

<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>49</b>
----------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>A-1</b>
----------------------	------------



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	N unit Pembangkitan Melayani Beban $P_{load}$ .....	7
Gambar 2.2	Kurva Input-Output Pembangkit Termal.....	9
Gambar 2.3	Karakteristik Kenaikan Panas Termal.....	10
Gambar 2.4	Representasi Kurva Kenaikan Input.....	10
Gambar 2.5	Karakteristik Heat Rate Pembangkit Termal.....	13
Gambar 2.6	Kurva Input-Output Pembangkit Hidro.....	11
Gambar 2.7	Kurva Kenaikan Air Pembangkit Hidro.....	12
Gambar 2.8	Konsep Pencarian Pbest dan Gbest PSO.....	17
Gambar 3.1	Diagram Alir Tugas Akhir.....	20
Gambar 3.2	Diagram Satu Garis Sistem IEEE 30 Bus.....	21
Gambar 3.3	Diagram Satu Garis Sistem Jawa-Bali 500 kV RUPTL tahun 2015-2024.....	23
Gambar 3.4	Diagram Alir Optimisasi ED TVAC-PSO.....	26
Gambar 3.4	Diagram Alir Optimisasi EED TVAC-PSO.....	28
Gambar 4.1	Grafik Konvergensi TVAC-PSO IEEE 30 Bus.....	36
Gambar 4.2	Grafik Konvergensi TVAC-PSO Kasus 1.....	40
Gambar 4.3	Grafik Konvergensi TVAC-PSO Kasus 2.....	42



***Halaman ini sengaja dikosongkan***



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Batasan pembangkitan daya pada sistem IEEE 30 Bus	22
Tabel 3.2	Fungsi biaya sistem IEEE 30 Bus.....	22
Tabel 3.3	Fungsi emisiss sistem IEEE 30 Bus.....	22
Tabel 3.4	Fungsi Biaya Sistem Transmisi Jawa-Bali 500 kV RUPTL Tahun 2015-2024.....	24
Tabel 3.5	Fungsi Emisi Sistem Transmisi Jawa-Bali 500 kV RUPTL Tahun 2015-2024.....	25
Tabel 3.6	Parameter TVAC-PSO.....	28
Tabel 4.1	Hasil simulasi IEEE 30 Bus 6 Unit generator.....	35
Tabel 4.2	Hasil pengujian TVAC-PSO.....	37
Tabel 4.3	Hasil pengujian PSO.....	37
Tabel 4.4	Hasil simulasi menggunakan TVAC-PSO.....	38
Tabel 4.5	Hasil simulasi menggunakan PSO.....	38
Tabel 4.6	Hasil simulasi Kasus 1 dengan TVAC-PSO.....	39
Tabel 4.7	Hasil simulasi Kasus 1 dengan PSO.....	39
Tabel 4.8	Hasil simulasi Kasus 2 dengan TVAC-PSO.....	41
Tabel 4.9	Hasil simulasi Kasus 2 dengan PSO.....	41
Tabel 4.10	Hasil simulasi Kasus 3 dengan TVAC-PSO.....	42
Tabel 4.11	Hasil simulasi Kasus 3 dengan PSO.....	43



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Proyeksi pertumbuhan ekonomi Indonesia berkisar antara 6-7 persen setahun, penambahan kapasitas listrik di dalam negeri membutuhkan sedikitnya 7.000 megawatt (MW) per tahun, hal ini ditanggapi sangat serius oleh pemerintah Indonesia dengan proyek 35000 Megawatt dengan kurun waktu pengerjaan mulai 2014 hingga 2019, hal tersebut telah dikukuhkan dalam dokumen Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2015-2019. Pemakaian unit-unit pembangkit termal sangat dominan di Indonesia, hal ini dikarenakan harga bahan bakar terutama batu bara relatif lebih murah dan biaya pembangunan unit pembangkit termal lebih murah jika dibandingkan membangun unit pembangkit tenaga non termal seperti PLTA.

Pada unit pembangkit termal yang berbahan bakar fosil, pertambahan beban akan mendorong pertambahan kuantitas (jumlah) bahan bakar per satuan waktu yang akan meningkatkan pertambahan biaya per satuan waktu. Fluktuasi kebutuhan energi listrik di sisi beban akan menimbulkan fluktuasi biaya bahan bakar, berkaitan dengan hal tersebut perlu ditentukan pola korelasi keduanya yang biasa disebut input output suatu pembangkit tenaga listrik. Peningkatan kualitas energi listrik juga sangat berpengaruh dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem. Pengoptimalan kapasitas pembangkit dari sistem tenaga listrik sangat diperlukan, karena proses pembangkitan dan penyaluran dalam sistem tenaga listrik memerlukan biaya yang sangat besar. Koordinasi antar pembangkitan diperlukan dalam memperoleh biaya yang minimum. Hal ini disebut juga dengan *economic dispatch (ED)*.

Dengan penerapan *economic dispatch*, akan didapatkan biaya pembangkitan yang minimum terhadap produksi daya listrik yang dibangkitkan unit-unit pembangkit pada suatu sistem kelistrikan [1]. Selain dengan menggunakan *economic dispatch (ED)* untuk meminimalkan biaya operasi unit pembangkit adalah dengan mengintegrasikan dengan pembangkit pembangkit kecil yang bersumber terbarukan sesuai dengan potensi wilayah masing-masing.. PLTA dan pembangkit-pembangkit termal diinterkoneksi untuk melayani beban sistem. Dalam tugas akhir ini PLTA dioperasikan secara maksimum dan hanya unit-unit pembangkit termal yang akan di optimasi. Optimasi unit pembangkit termal akan menggunakan salah satu teknik solusi masalah optimisasi sistem tenaga listrik yaitu menggunakan *Time Varying Acceleration Berbasis Particle Swarm Optimization (PSO)*.

## **1.2 Tujuan Penelitian:**

Tujuan yang ingin dicapai dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan implementasi metode Time Varying Acceleration Berbasis Particle Swarm Optimization (PSO) dalam menyelesaikan permasalahan economic dispatch (ED)
2. Melakukan optimisasi pada pembagian beban unit pembangkit secara ekonomis dan efisien.
3. Melakukan perhitungan economic dispatch untuk menentukan total biaya bahan bakar yang minimum dengan menggunakan Time Varying Acceleration Berbasis Particle Swarm Optimization (PSO).
4. Membandingkan metode penyelesaian dengan metode Ai yang lain

## **1.3 Permasalahan**

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Memperoleh nilai *Cost function* baru tiap unit pembangkit sistem Jawa-Bali 500 kV berdasarkan RUPTL tahun 2015-2024
2. Memperoleh hasil total biaya pembangkitan minimum menggunakan metode TVAC berbasis PSO

## **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Sistem yang digunakan dalam simulasi adalah sistem Jawa-Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL tahun 2015-2024 & data *single line diagram* RUPTL tahun 2021
2. Beban yang digunakan dalam simulasi adalah beban maksimum pada pukul 19.00 WIB
3. Rugi-rugi transmisi tidak diperhitungkan.
4. Optimasi hanya menggunakan unit pembangkit termal saja
5. Unit pembangkit dianggap dalam keadaan menyala dan bekerja normal
6. Tidak ada penambahan dan pengurangan unit pembangkit

## **1.5 Metode Penelitian**

Dalam penulisan Tugas Akhir ini akan dilakukan perhitungan total biaya pembangkitan sistem transmisi jawa bali 500kV melalui *software* Matlab. Metode perhitungan yang dipakai dalam menyelesaikan



permasalahan ED tersebut adalah *Time Varying Acceleration* berbasis *Particle Swarm Optimization*.

Tahapan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi Literatur

Studi literature dilakukan untuk menunjang penguasaan tentang pengumpulan pustaka untuk dipelajari dalam pengerjaan penelitian tugas akhir. Teori – teori penunjang seperti studi analisis sistem tenaga, *economic dispatch*, *Time Varying Acceleration* , *Particle Swarm Optimization*, Metode *Time Varying Acceleration Berbasis Particle Swarm Optimization (PSO)*.

2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari data *existing* atau data dari tahun sebelumnya yang nantinya akan dikombinasikan dengan data RUPTL 2015 – 2024. Data tersebut berupa data *single line diagram*, batasan tiap unit pembangkit, kapasitas pembangkit, jumlah beban pada sistem, *cost function* tiap pembangkit dan *emission coefficient* dari tiap pembangkit

3. Pembuatan Program dengan Software Matlab

Pembuatan program dilakukan menggunakan software Matlab dengan mengimplementasikan metode perhitungan *economic dispatch* menggunakan metode *Time Varying Acceleration* berbasis PSO

4. Simulasi dan Analisa

Simulasi dilakukan menggunakan data pembebanan pada pukul 19.00 WIB, data yang diperoleh dari hasil simulasi akan dianalisis untuk mengetahui hubungan antara daya pembangkitan dengan total biaya pembangkitan dan emisi gas buang hasil pembakaran serta perbandingan penyelesaian permasalahan ED dengan metode AI lain.

5. Penulisan Buku

Penulisan laporan dilakukan sebagai analisis tertulis serta kesimpulan dan saran dari jawaban permasalahan yang diangkat penulis.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

## BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, tujuan penelitian, permasalahan, batasan masalah, metode penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi dari Tugas Akhir.

## BAB II : *ECONOMIC EMISSION DISPATCH*

Bab ini secara garis besar membahas sistem kelistrikan secara umum serta dasar teori dari *economic dispatch*, *economic emission dispatch*, algoritma PSO.

## BAB III : *ECONOMIC EMISSION DISPATCH* MENGGUNAKAN *TIME VARYING ACCELERATION* BERBASIS PSO

Bab ini berisi tentang metode pengaplikasian metode *Time Varying Acceleration* berbasis PSO dalam menyelesaikan permasalahan *Economic Dispatch*

## BAB IV : SIMULASI DAN ANALISIS

Bab ini berisi penyajian data pembangkit dan pembebanan pada sistem Jawa-Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL tahun 2015-2024 serta hasil simulasi *Time Varying Acceleration* berbasis PSO dalam menyelesaikan permasalahan *Economic Dispatch*

## BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil pembahasan dan sara-saran yang berhubungan dengan pokok-pokok pembahasan serta saran yang berkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan.

### 1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa yang hendak mengambil masalah serupa sebagai bahan Tugas Akhir.
2. Pemodelan sistem pembangkit Jawa Bali sesuai RUPTL tahun 2021 dengan prediksi beban puncak pada pukul 19.00 WIB sebesar 39983 MW
3. Menyelesaikan permasalahan ED dengan salahsatu pengembangan atau modifikasi pada metode PSO yang telah banyak digunakan



## **BAB II**

### ***ECONOMIC DISPATCH***

#### **2.1 Sistem Tenaga Listrik**

Energi listrik merupakan sumber energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Hampir seluruh aspek kehidupan manusia tidak lepas dari peran energi listrik. Bidang industri, transportasi, dan komunikasi adalah beberapa contoh dari sisi kehidupan manusia yang dapat dipastikan membutuhkan energi listrik. Hampir seluruh sumber energi yang ditemukan manusia dikonversikan menjadi energi listrik. Energi listrik menjadi penting karena mudah diubah dan didistribusikan.

Sistem tenaga listrik merupakan saluran terinterkoneksi yang dibagi menjadi empat bagian utama, yaitu unit pembangkit, transmisi, distribusi, dan beban tenaga listrik. Unit-unit pembangkit tenaga listrik dengan lokasi berjauhan satu sama lain terhubung pada sistem melalui sistem transmisi yang luas untuk menyuplai energi listrik pada beban yang tersebar

Sebuah sistem tenaga listrik menjadi sebuah unit usaha yang sangat memperhatikan faktor teknis dan ekonomis dalam hal pengoperasian. Pada sistem tenaga listrik selalu dijaga kondisi seimbang antara pemasukan dan pengeluaran (pembiayaan) agar dapat diperoleh keuntungan yang diharapkan, sehingga kelangsungan unit usaha dapat dijaga dan meningkatkan kualitas serta kapabilitas unit usaha.

Dengan terhubung banyak pembangkit ke dalam sebuah sistem interkoneksi memberikan kemungkinan pengaturan daya listrik yang terbangkitkan pada setiap unit pembangkit, dan biaya pembangkitan dapat diatur pada tingkat yang ekonomis .

Sistem tenaga listrik merupakan penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit listrik (*Power Plant*) sampai dengan distribution sehingga dapat disalurkan hingga ke konsumen pengguna listrik melalui suatu bahan konduktor. Secara umum sistem tenaga listrik dibagi menjadi beberapa bagian antara lain :

1. Pembangkit
2. Transmisi
3. Distribusi
4. Beban

Jumlah beban yang harus disuplai unit-unit pembangkit selalu berubah setiap waktu. Oleh karena itu, pada penyaluran daya listrik, jumlah energi listrik terbangkitkan harus bernilai sama dengan jumlah beban yang harus disuplai untuk memperoleh biaya pembangkitan paling ekonomis.

### **2.1.1. Pembangkit Listrik**

Inti dari sebuah sistem tenaga listrik adalah pembangkitan serta penyaluran, usaha pembangkitan tenaga listrik menjadi salah satu bagian yang sangat penting, apabila tidak ada pembangkit maka tidak ada daya yang dapat disalurkan ke konsumen. Pembangkitan energi listrik merupakan kesatuan usaha dari beberapa peralatan kelistrikan, diantaranya generator, turbin, transformator, serta peralatan pendukung pembangkitan energi kelistrikan. Fungsi utama dari pembangkit listrik adalah penyedia sumber energi untuk beban – beban listrik

Generator sinkron merupakan salah satu peralatan utama dalam menghasilkan energi listrik. Generator sinkron mempunyai dua medan putar yang sinkron, satu medan diproduksi oleh rotor pada kecepatan sinkron dan memperoleh eksitasi dari arus DC, dan medan lain diproduksi pada kumparan stator oleh arus armatur tiga fasa. Pada prinsipnya sebuah generator listrik adalah medan magnet yang berputar, untuk dapat memutar stator pada generator dibutuhkan turbin yang terhubung pada stator, bahan bakar turbin yang digunakan dapat bermacam macam mulai dari angin, air, gas, uap, batubara hingga nuklir

### **2.1.2. Transmisi**

Transmisi tenaga listrik merupakan proses menyalurkan energi listrik dari unit pembangkit menuju sistem dalam rangka menyuplai beban. Standar tegangan transmisi dikeluarkan oleh United States dalam standar ANSI (*American National Standards Institute*). Tegangan transmisi dioperasikan lebih dari 60 kV, yaitu dengan standar satuan 69 kV, 115 kV, 138 kV, 161 kV, 230 kV, 345 kV, 500 kV, and 765 kV line-to-line [1].

### **2.1.3 Distribusi**

Sistem distribusi merupakan bagian penyaluran energi listrik dari gardu induk distribusi menuju konsumen. Tegangan pada saluran distribusi primer yaitu 4 kV sampai 34.5 kV. Jaringan distribusi sekunder menyalurkan tegangan kepada konsumen dengan level tegangan 240/120 V, fasa tunggal dengan tiga kawat; 208/120 V tiga fasa, empat kawat; 480/277 V, tiga fasa, empat kawat.

Berdasarkan letak, sistem distribusi dibagi menjadi dua yaitu, *Overhead* dan *Underground*. *Overhead* merupakan kabel atau kawat transmisi listrik disalurkan di udara, sedangkan *Underground* adalah transmisi listrik terletak di bawah tanah.[1]



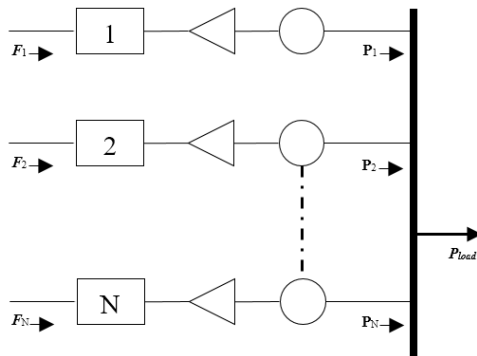
### 2.1.4 Beban

Beban pada sistem tenaga dibagi menjadi beberapa bagian yaitu industri, komersil dan rumah tangga. Beban industri merupakan beban campuran dan beban yang mendominasi adalah beban dari motor listrik. Beban campuran akan mempengaruhi nilai dari frekuensi tegangan dan nilai daya reaktif. Sedangkan beban komersial dan beban rumah tangga secara umum terdiri dari beban untuk pencahayaan, pemanasan dan pendinginan. Beban-beban tersebut tidak mempengaruhi frekuensi dan nilai konsumsi daya reaktif.

Daya nyata dinyatakan dalam satuan kilowatt atau megawatt, besarnya beban berbeda tiap waktu dan daya yang dibangkitkan harus menyesuaikan dengan kebutuhan beban. Kurva beban harian dari peralatan listrik merupakan beban yang berasal dari penggunaan listrik yang berbeda. Beban terbesar yang terjadi selama periode 24 jam disebut dengan beban puncak atau permintaan maksimum.

## 2.2 Karakteristik Unit Pembangkit

Pembangkit termal mempunyai karakteristik khusus yaitu harga bahan bakar sangat menentukan biaya operasi. Dalam sistem tenaga listrik terdapat banyak pembangkit termal dengan karakteristik dan biaya operasi yang berbeda-beda. *Economic Dispatch* adalah pembagian pembebanan pada pembangkit-pembangkit yang terhubung dengan sistem dengan biaya operasi minimum. Besar beban pada suatu sistem tenaga selalu berubah setiap periode waktu tertentu oleh karena itu untuk mensuplai beban secara ekonomis maka perhitungan *economic dispatch* dilakukan pada setiap besar beban tersebut. Batasan utama dari operasi sistem pembangkitan tersebut adalah jumlah tenaga listrik yang mencukupi kebutuhan beban [1].



**Gambar 2.1**  $N$  unit pembangkitan melayani beban  $P_{load}$  [1]

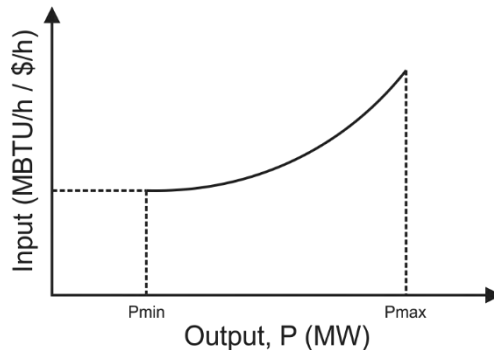
Gambar 2.1 menunjukkan sistem yang terdiri dari  $N$  unit pembangkit terhubung ke bus-bar tunggal melayani beban listrik sebesar  $P_{load}$ .

### 2.2.1 Karakteristik *Input-Output* Pembangkit Termal

Perbedaan karakteristik unit pembangkit menyebabkan posisi pembangkit dalam mensuplai beban suatu sistem tenaga listrik menjadi berbeda. Secara umum jenis-jenis posisi pembangkit dalam sistem adalah pembangkit pemikul beban dasar, beban menengah dan beban puncak. Pembangkit dengan karakteristik yang kurang fleksibel yaitu pembangkit yang tidak dapat dihidupkan atau dimatikan dalam waktu singkat dan lambat dalam hal menaikkan atau menurunkan pembebanan serta mengharuskan pembangkit untuk dioperasikan sepanjang pembangkit siap. Pembangkit kelompok ini digolongkan ke dalam pembangkit base load. Pembangkit base load berskala besar dan memiliki biaya produksi yang lebih murah dibandingkan dengan pembangkit kelompok lain. Pembangkit base load dioperasikan pada kapasitas terpasang maksimum sepanjang pembangkit tersebut siap serta sesuai dengan kesiapan sistem penyaluran. Contoh pembangkit jenis ini adalah PLTU batubara. Pembangkit kelompok menengah meliputi pembangkit yang lebih fleksibel namun lebih mahal dari pembangkit base load, seperti PLTGU gas dan PLTU minyak. Pembangkit yang difungsikan sebagai pemikul beban puncak meliputi pembangkit yang fleksibel baik dalam kecepatan perubahan pembebanan maupun operasi hidup dan mati pembangkit. [4]

Pada pembangkit termal, karakteristik input-output konsumsi bahan bakar pembangkit merupakan dasar penyusunan fungsi biaya. Secara umum karakteristik input-output pembangkit termal berbentuk Btu per hour input ke unit generator (Mbtu/h). Biaya pembangkitan adalah perkalian dari biaya (\$) kalori yang terkandung dalam bahan bakar dengan kebutuhan kalori tiap jam dari generator (BTU/h). Hasil daya yang dibangkitkan (MW) direpresentasikan dengan  $P$ . Pada gambar 2.2 ditunjukkan bahwa kurva karakteristik input-output dari pembangkit termal memiliki batas minimal dan maksimal dari daya output yang diproduksi. Selain biaya bahan bakar yang dikonsumsi, biaya operasi juga meliputi biaya tenaga kerja, biaya pemeliharaan, biaya transportasi bahan bakar dan lain-lain. Biaya-biaya tersebut sulit direpresentasikan secara langsung sebagai fungsi biaya dari daya output yang dihasilkan generator. Karena permasalahan tersebut, biaya-biaya tersebut diasumsikan sebagai fixed cost dari biaya pembangkitan dan akan diabaikan dalam proses optimasi pada tugas akhir ini.





**Gambar 2.2** Kurva Input-Output Pembangkit Termal

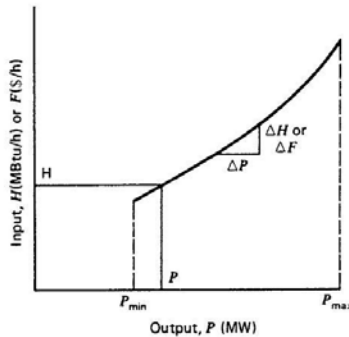
Karakteristik input-output diekspresikan dalam persamaan yang merupakan pendekatan atau linearisasi dari biaya bahan bakar yang masuk ke generator terhadap daya output generator. Persamaan karakteristik yang diperoleh disebut sebagai biaya pembangkitan energi listrik dari suatu pembangkit. Persamaan karakteristik input-output pembangkit termal secara umum direpresentasikan dalam persamaan orde dua. Untuk menganalisis permasalahan mengenai operasi dalam sistem tenaga terutama masalah operasi ekonomis, dibutuhkan dasar mengenai karakteristik input-output dari suatu unit pembangkit termal. Untuk mendefinisikan karakteristik unit, akan dibahas mengenai *gross input* dan *net input*.

*Gross input* dari suatu pembangkit merepresentasikan total input dan diukur dalam dolar per jam atau ton bahan bakar per jam atau kubik gas per jam atau dalam bentuk unit lain. Sedangkan *net output* dari suatu pembangkit adalah output daya listrik yang tersedia untuk penggunaan pada sistem tenaga listrik. Dengan mendefinisikan karakteristik dari unit turbin uap digunakan beberapa konstanta sebagai berikut :

$H$  = Btu per jam input panas pada unit (Mbtu/h)

$F$  = Biaya bahan bakar dikalikan  $H$  adalah  $R$  per jam ( $R/h$ ) input pada unit untuk bahan bakar [1]

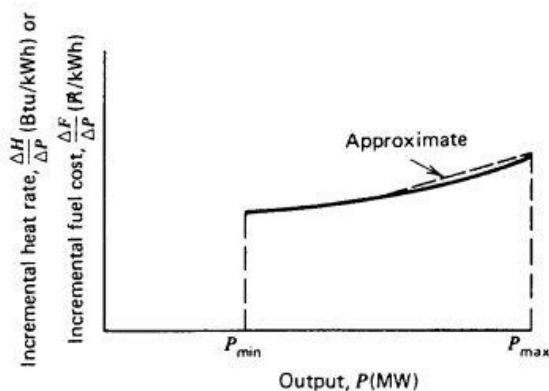
Biaya operasional  $R$  per jam suatu unit terdiri atas biaya operasional dan biaya pemeliharaan. Sehingga biaya pekerja akan dimasukkan sebagai bagian dari biaya operasi pembangkitan jika biaya ini dapat digambarkan secara langsung sebagai fungsi dari output unit. Output dari unit pembangkit dinotasikan dengan  $P$ . Gambar 2.3 menunjukkan karakteristik input-output suatu unit pembangkit tenaga uap yang ideal.



**Gambar 2.3** Karakteristik Kenaikan Panas Pembangkit Termal

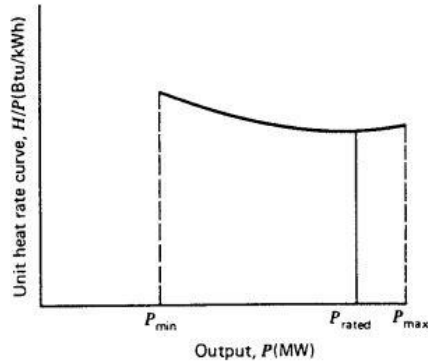
Input unit yang ditunjukkan pada sumbu ordinat dapat diterjemahkan pula dalam bentuk kebutuhan energi panas (Mbtu/jam) datau dalam bentuk biaya total per jam (R/jam). Output adalah output dayan listrik dari unit tersebut. Karakteristik yang ditunjukkan adalah dalam bentuk ideal sehingga tampak berupa kurva cembung.

Karakteristik kenaikan panas dari unit pembangkit uap diperlihatkan pada gambar 2.4. Karakteristik ini adalah kemiringan dari karakteristik input-output ( $\frac{\Delta H}{\Delta P}$  atau  $\frac{\Delta F}{\Delta P}$ ). Data yang ditunjukkan pada kurva ini dalam satuan Btu per kilowatt jam (R per kilowatt jam)



**Gambar 2.4** Representasi Kurva Kenaikan Input



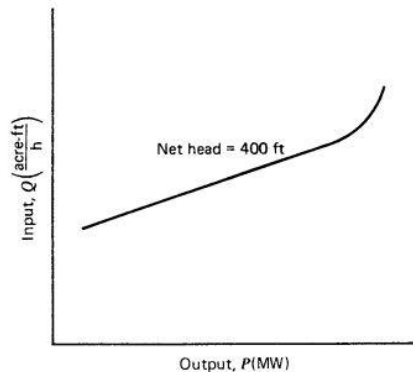


**Gambar 2.5** Karakteristik *Heat Rate* Pembangkit Termal

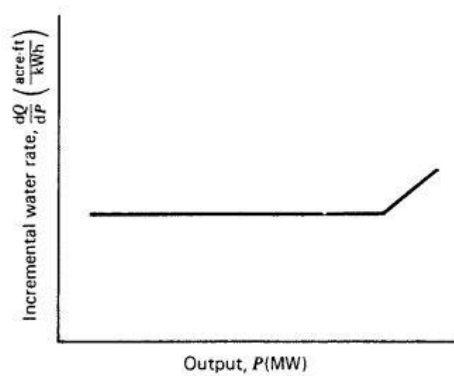
*Heat Rate* dari suatu pembangkit tidak boleh melebihi kapasitas maksimum dari pembangkit ( $P_{max}$ ) dan kapasitas minimum dari pembangkit ( $P_{min}$ ). Apabila melebihi dari  $P_{max}$  dan kurang dari  $P_{min}$  maka pembangkit tersebut sudah tidak beroperasi secara aman.

### 2.2.2 Karakteristik *Input-Output* Pembangkit Hidro

Unit pembangkit listrik tenaga air mempunyai karakteristik input-output berbeda dengan unit pembangkit tenaga uap, input berupa volume air per unit waktu sedangkan output adalah daya listrik. Gambar 2.6 menunjukkan kurva input-output pembangkit tenaga air. Karakteristik ini menunjukkan kurva yang hampir linear dengan kebutuhan volume input air per waktuunit sebagai fungsi dari daya output. Karakteristik kenaikan rata-rata air ditunjukkan seperti pada Gambar 2.7



**Gambar 2.6** Kurva *Input-Output* Pembangkit Tenaga Air



**Gambar 2.7** Kurva Kenaikan Air Pada Pembangkit Tenaga Air

### 2.2.3 Permasalahan *Economic Dispatch* (ED)

*Economic Dispatch* (ED) pada sistem pembangkit digunakan untuk menentukan kombinasi output tenaga yang optimal untuk semua unit pembangkitan dengan meminimalkan total biaya bahan bakar dan memenuhi *constraint*. Masalah *economic dispatch* dijelaskan dalam matematika pada persamaan [2] :

$$F_T = \sum F_i(P_i) \quad (2.1)$$

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (2.2)$$

dimana :

- $F_T$  = total biaya pembangkitan (Rp)
- $F_i(P_i)$  = fungsi biaya input-output dari pembangkit i (Rp/jam)
- $a_i, b_i, c_i$  = koefisien biaya dari pembangkit i
- $P_i$  = output pembangkit i (MW)

Fungsi biaya pembangkit yang ditunjukkan pada persamaan (2.2) merupakan persamaan orde 2, dengan kata lain merupakan fungsi polinomial atau tidak linier. Sehingga dalam perhitungan *Economic Dispatch* menjadi cukup rumit.

Kombinasi daya output yang dibangkitkan oleh tiap-tiap generator pada sistem harus memenuhi kebutuhan beban dari sistem tenaga listrik (*equality constraint*) dan memenuhi batas minimum serta maksimum dari daya yang dapat dibangkitkan oleh generator (*inequality constraint*).

Kondisi lain yang harus dipenuhi dalam penyelesaian *Economic Dispatch* antara lain :

$$P_{i \min} \leq P_i \leq P_{i \max} \quad (2.3)$$

$$\sum P_i = P_D \quad (2.4)$$

dimana :

$P_{\min}, P_{\max}$  = batasan minimum dan maksimum daya pembangkit

$P_i$  = daya output pembangkit (MW)

$P_D$  = daya permintaan konsumen (MW)

### 2.3 Polutan Hasil Pembakaran Batubara

Polusi berarti pencemaran terhadap makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain yang masuk ke dalam lingkungan yang menyebabkan tatanan lingkungan menjadi berubah oleh kegiatan manusia atau proses alam. Polusi udara adalah penurunan kualitas udara sampai pada tahap mengganggu kehidupan karena polutan masuk ke dalam udara.

Pembakaran batubara akan menghasilkan emisi limbah yang lebih banyak dibandingkan bahan bakar minyak dan gas. Pembakaran batubara juga menghasilkan abu sisa pembakaran, gas belerang oksida, nitrogen oksida, karbon monoksida dan karbon dioksida. Pada pembakaran batubara nitrogen akan dirubah menjadi nitrogen oksida yang disebut NOx. Selain nitrogen dari batubara, NOx juga dapat terbentuk dari nitrogen dalam udara pembakaran. Zat nitrogen oksida dapat menyebabkan kerusakan paru-paru. Setelah bereaksi di atmosfer, zat nitrogen oksida membentuk partikel-partikel nitrat sangat halus yang menembus bagian terdalam paru-paru atau uap air di awan akan membentuk asam. Zat oksida bereaksi dengan asap bensin yang tidak terbakar dan zat-zat hidrokarbon lain di sinar matahari akan membentuk ozon rendah berbentuk kabut berwarna coklat kemerahan yang menyelimuti sebagian besar kota di dunia.

### 2.4 *Economic Emission Dispatch (EED)*

Polusi udara pada atmosfer bumi disebabkan oleh emisi gas SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, dan NO yang dihasilkan dari pembangkitan energi listrik pada pembangkit listrik termal. Salah satu tujuan dari EED adalah untuk meminimalkan hasil emisi akibat pembakaran bahan bakar pada pembangkit listrik termal. Jumlah emisi dari setiap unit pembangkit diberikan sebagai persamaan dari setiap daya output yang dihasilkan oleh



masing-masing unit pembangkit. Tujuan utama dari EED adalah untuk meminimalkan biaya pembangkitan dan emisi yang dihasilkan pembangkit dalam memenuhi permintaan beban tenaga listrik dengan tetap mempertimbangkan persamaan dan pertidaksamaan *constratint*. [3]

Fungsi tujuan merupakan formula yang terdiri dari tujuan-tujuan yang akan di minimumkan. Persamaan nilai *multiobjective* dapat dilihat pada persamaan 2.5

$$F = W_c \cdot F_{CT} + W_s \cdot F_{ET} \quad (2.5)$$

dimana :

$$W_c + W_s = 1 \quad (2.6)$$

Keterangan:

$F$	= Fungsi tujuan
$F_{ET}$	= Total emisi pembangkit-pembangkit dalam sistem (gram)
$F_{CT}$	= Total biaya bahan bakar pembangkit dalam sistem (Rp)
$W_c$	= Bobot untuk biaya bahan bakar pembangkit dalam sistem
$W_s$	= Bobot untuk emisi pembangkit dalam sistem

Tujuan yang diminimumkan dalam *multi-objective economic emission dispatch* dapat dilihat berdasarkan tujuan ekonomi serta tujuan emisi.

#### 2.4.1 Fungsi Tujuan Ekonomi

Salah satu tujuan dari permasalahan EED adalah meminimalkan total biaya pembangkitan. Fungsi biaya pembangkitan diberikan pada persamaan sebagai berikut :

$$F_c(P) = \sum_{i=1}^N a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (2.7)$$

dimana :

$a_i b_i c_i$	= <i>cost function</i>
$P_i$	= daya output dari unit pembangkit ke-i dalam MW

## 2.4.2 Fungsi Tujuan Emisi

Polusi udara pada atmosfer bumi disebabkan oleh emisi gas SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, dan NO yang dihasilkan dari pembangkitan energi listrik pada pembangkit listrik termal. Salah satu tujuan dari EED adalah untuk meminimalkan hasil emisi akibat pembakaran bahan bakar pada pembangkit listrik termal. Jumlah emisi dari setiap unit pembangkit diberikan sebagai persamaan dari setiap daya output yang dihasilkan oleh masing-masing unit pembangkit. Total emisi pada sistem tenaga listrik dapat dilihat pada persamaan dibawah ini :

$$F_c(P) = \sum_{i=1}^N \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (2.8)$$

Dimana  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  adalah koefisien emisi dari masing masing generator [3]

Dengan memperhatikan nilai emisi dari pembangkit maka diharapkan faktor lingkungan juga menjadi perhatian yang harus dipertimbangkan saat mengoperasikan unit pembangkit khususnya unit pembangkit yang menggunakan mekanisme pembakaran. Nilai emisi yang dihasilkan dari unit pembangkit khususnya unit-unit *thermal* berbeda beda, hal ini dikarenakan unit-unit pembangkit tersebut memiliki kapasitas pembangkitan yang berbeda serta bahan bakar yang digunakan juga berbeda, misalnya batubara ataupun gas.[3-4]

## 2.5 Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle Swarm Optimization adalah salah satu metode optimasi yang terinspirasi dari perilaku gerakan kawanan hewan seperti ikan (school of fish), hewan herbivor (herd), dan burung (flock) yang kemudian tiap objek hewan disederhanakan menjadi sebuah partikel. Suatu partikel dalam ruang memiliki posisi yang dikodekan sebagai vektor koordinat. Vektor posisi ini dianggap sebagai keadaan yang sedang ditempati oleh suatu partikel di ruang pencarian. Setiap posisi dalam ruang pencarian merupakan alternatif solusi yang dapat dievaluasi menggunakan fungsi objektif. Setiap partikel bergerak dengan kecepatan

Particle Swarm Optimization atau yang kita kenal dengan PSO menerapkan sifat masing-masing individu dalam satu kelompok besar. Kemudian menggabungkan sifat-sifat tersebut untuk menyelesaikan permasalahan. Particle Swarm Optimization pertama kali dimunculkan pada tahun 1995, sejak saat itulah para peneliti banyak menurunkan dan mengembangkan metode PSO.[4]

Ciri khas dari PSO adalah pengaturan kecepatan partikel secara heuristik dan probabilistik. Jika suatu partikel memiliki kecepatan yang konstan maka jika jejak posisi suatu partikel divisualisasikan akan membentuk garis lurus. Dengan adanya faktor eksternal yang membelokkan garis tersebut yang kemudian menggerakkan partikel dalam ruang pencarian maka diharapkan partikel dapat mengarah, mendekati, dan pada akhirnya mencapai titik optimal. Faktor eksternal yang dimaksud antara lain posisi terbaik yang pernah dikunjungi suatu partikel, posisi terbaik seluruh partikel. PSO memiliki banyak kemiripan dengan Genetic Algorithms (GA), di mana sistem diawali dengan suatu populasi yang terbentuk dari solusi-solusi acak (*random solutions*) kemudian sistem mencari optimalitas melalui pembaharuan generasi secara acak.

### 2.5.1 Prinsip kerja *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Particle Swarm Optimization memiliki kesamaan sifat dengan teknik komputasi seperti Algoritma Genetika (*Genetic Algorithm*). Sistem PSO diinisialisasi oleh sebuah populasi solusi secara acak dan selanjutnya mencari titik optimum dengan cara meng-*update* tiap hasil pembangkitan, kawanan diasumsikan mempunyai ukuran tertentu atau tetap dengan setiap partikel posisi awalnya terletak di suatu lokasi yang acak dalam ruang multidimensi. Setiap partikel diasumsikan memiliki dua karakteristik: posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam ruang/*space* tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan atau nilai fungsi objektif. Setiap partikel menyampaikan informasi atau posisi kepada partikel yang lain dan menyesuaikan posisi dan kecepatan masing-masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai posisi yang terbaik. [3]

PSO tidak memiliki *evolution operators*, seperti mutasi dan *crossover* (persilangan). Sebaliknya, *potential solutions*, yakni individu-individu, atau yang disebut sebagai partikel, ‘terbang’ mengikuti individu-individu yang optimum saat ini (*current optimum particles*). Setiap individu menyimpan jejak-jejak posisinya dalam *problem space*. Jejak-jejak posisi tersebut diartikan sebagai *best solution*, atau *fitness* dalam GA, yang diperolehnya sejauh ini. Nilainya, yakni *fitness value*, yang disebut *pbest*, juga turut disimpan. Selain *pbest* yang merupakan milik individu yang bersangkutan, turut disimpan pula nilai terbaik milik individu di sekitarnya (*local best*), yang disebut *lbest*. Jika suatu individu memperhitungkan semua individu di dalam populasi di mana dia berada sebagai individu di sekitarnya, maka nilai terbaik yang dimaksud adalah nilai terbaik umum (*global best*) dan disebut *gbest*. Selanjutnya, terjadi



akselerasi antara lokasi pbest dan lokasi lbest dari setiap individu. Akselerasi ini diberi bobot berupa bilangan acak. Dengan demikian, mekanisme berbagi informasi (*information sharing mechanism*) yang dimiliki PSO berbeda secara signifikan dengan yang dimiliki GA. Dalam PSO, hanya gbest, atau lbest, yang memberi informasi kepada yang lain. Ini adalah sebuah mekanisme berbagi informasi satu arah. Proses pencarian Pbest dan Gbest diilustrasikan pada gambar 2.8  
Kecepatan dari setiap partikel dapat dirumuskan menjadi persamaan 2.9

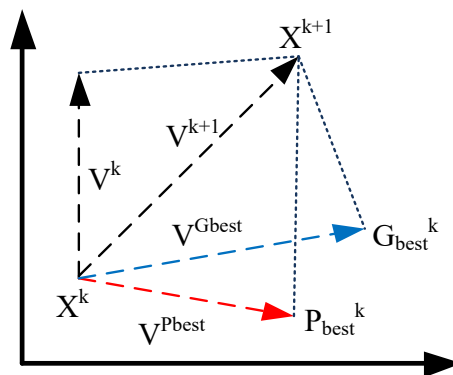
$$v(t + 1) = w * v(t) + (c1 * rand1 * (Pi - x(t)) + (c2 * rand2 * (Pb - x(t))) \quad (2.9)$$

Sedangkan posisi partikel dapat dirumuskan menjadi persamaan 2.10

$$x(t + 1) = x(t) + v(t + 1) \quad (2.10)$$

Dimana :

- $v(t)$  : kecepatan awal partikel
- $x(t)$  : posisi awal partikel
- $v(t + 1)$  : kecepatan baru partikel
- $x(t + 1)$  : posisi baru partikel
- $Pi$  : solusi lokal terbaik
- $Pb$  : solusi global terbaik
- $w$  : fungsi berat dari kecepatan partikel k, bernilai 1
- $c1$  : faktor kognitif bernilai 1
- $c2$  : faktor sosial bernilai 1



**Gambar 2.8** Konsep Pencarian Pbest dan Gbest PSO.

### 2.5.2 Istilah dalam *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Algoritma heuristik yang modern seperti PSO telah menerima perhatian yang besar di kalangan peneliti pada banyak problem sampai saat ini. Salah satu kelebihan algoritma ini adalah dalam mengatasi masalah optimisasi pada sistem tenaga listrik yang memiliki dimensi tinggi. Dalam proses optimisasi pada PSO, terdapat beberapa istilah yang digunakan, yaitu :

#### a. Partikel

Setiap individu dalam suatu kawanan disebut sebagai partikel atau agen. Semua partikel dalam kawanan tersebut bertindak secara individual di bawah prinsip yang sama. Mereka berusaha dengan cepat menuju tempat yang memiliki makanan terbaik dan memeriksa nilai dari lokasi makanan tersebut secara terus menerus.

#### b. Posisi

Dalam algoritma PSO, posisi dilambangkan sebagai tempat partikel berada pada koordinat tertentu. Partikel tersebut berada pada dimensi ke-N untuk mengatasi pencarian koordinat dalam sumbu-x dan sumbu-y. Dimensi ke-N adalah ruang dalam sumbu-x dan sumbu-y sebagai solusi untuk memecahkan permasalahan yang akan dioptimisasi, dimana set koordinat merupakan proses pencarian posisi dalam sumbu-x dan sumbu-y. Posisi merupakan nilai yang diperlukan untuk mengoptimalkan proses pencarian koordinat letak makanan yang terbaik. Algoritma PSO dapat mengurangi permasalahan optimisasi yang berhubungan dengan nilai yang dapat mewakili posisi di ruang dimensi sebagai salah satu cara dalam pencarian koordinat yang terbaik.

#### c. Fitness

Seperti layaknya teknik semua perhitungan evolusi, ada variabel atau fungsi yang harus digunakan sebagai metode untuk mengevaluasi nilai posisi. Fungsi fitness harus mengambil posisi di ruang solusi dan kembali ke nomor tunggal yang mewakili nilai posisi itu. Fungsi fitness adalah sebuah fungsi density. Semakin tinggi density, semakin baik lokasi yang dapat ditemukan dalam proses pencarian. Fungsi fitness dapat dipengaruhi oleh daya yang dibangkitkan, ramp rate, dan beberapa faktor lainnya.

#### d. Pbest

Dalam analogi pencarian makanan oleh kawanan burung, setiap burung mengingat lokasi makanan yang telah mereka temukan. Lokasi dimana burung menemukan makanannya dengan nilai fitness terbaik dikenal sebagai personal best atau Pbest. Setiap burung memiliki Pbest tersendiri yang ditentukan oleh jalur mereka dalam mencari makanannya. Pada setiap titik di sepanjang pencarian makanan, burung

membandingkan nilai fitness lokasi terbaiknya saat ini. Jika lokasi saat ini memiliki nilai fitness lebih baik, maka nilai Pbest diganti dengan lokasinya saat ini.

e. Gbest

Setiap burung juga memiliki cara untuk mencari jalur tercepat dalam menemukan makanan. Dari sekelompok burung tersebut, ditentukan mana yang memiliki nilai fitness Pbest terbaik. Lokasi nilai fitness terbaik itulah yang disebut sebagai global best atau Gbest. Dalam satu kelompok terdapat satu Gbest. Pada setiap titik di jalur kawanan burung tersebut mencari makanan, burung selalu membandingkan nilai fitness lokasi mereka saat ini dengan nilai fitness Gbest yang sebelumnya. Jika lokasi yang baru memiliki nilai fitness yang lebih bagus, maka Gbest digantikan oleh lokasi yang baru.

### 2.5.3 *Time Varying Acceleration* berbasis *Particle Swarm Optimization* (TVAC-PSO)

Kelemahan metode PSO konvensional dalam mengatasi permasalahan ED adalah peneliti diharuskan mencoba nilai-nilai yang ingin dicoba dalam parameter PSO, jika menggunakan nilai yang tidak pas maka hasil keluaran perhitungan optimasi ED menggunakan metode PSO akan mengalami perubahan yang sangat besar khususnya dalam topik ini adalah biaya pembangkitan yang terlalu mahal serta konvergenitas data yang susah didapatkan karena banyaknya nilai acak yang digunakan. Dengan mengubah nilai parameter kognitif ( $c_1$ ) dan faktor sosial ( $c_2$ ) menjadi tidak konstan, atau berubah sesuai waktu akan memungkinkan partikel untuk mengeksplorasi serta menemukan cara terbaik serta hasil yang terbaik dalam optimasi permasalahan ED menggunakan PSO. Persamaan posisi serta kecepatan tetap menggunakan persamaan konvensional (2.9 dan 2.10) sedangkan persamaan  $c_1$  dan  $c_2$  [paper1] dapat di rumuskan dalam persamaan 2.11 dan 2.12 [3]

$$C_1 = ((C_{1f} - C_{1i}) * \text{iter} / \text{iter}_{\max} + C_{1i} \quad (2.11)$$

$$C_2 = ((C_{2f} - C_{2i}) * \text{iter} / \text{iter}_{\max} + C_{2i} \quad (2.12)$$

Dimana :

$c_1$  : faktor kognitif

$c_2$  : faktor sosial

iter : iterasi ke

iter max : iterasi maksimal

$c_{(i)}$  : nilai awal dan nilai akhir faktor kognitif dan sosial



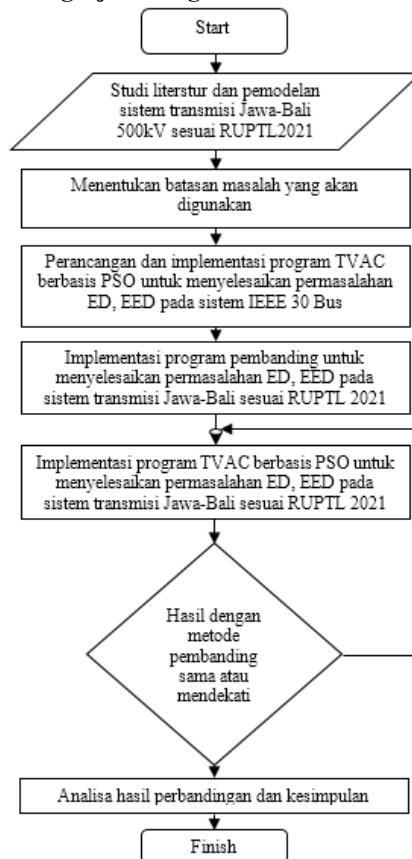
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

### BAB III

## OPTIMASI MENGGUNAKAN *TIME VARYING ACCELERATION* BERBASIS PSO

Bab ini berisi tentang metode pengaplikasian metode Time Varying Acceleration berbasis PSO dalam menyelesaikan permasalahan Economic Emission Dispatch. Pengolahan data dan simulasi dikerjakan dengan menggunakan software MATLAB. Sistem yang diterapkan pada pengerjaan tugas akhir ini adalah sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV berdasarkan RUPTL tahun 2015-2024.

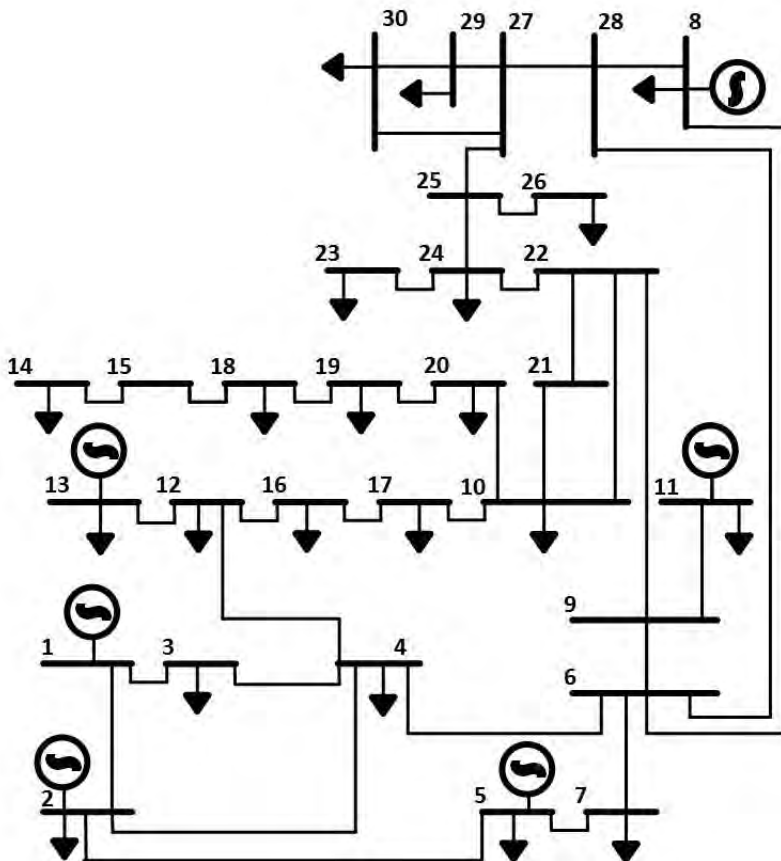
### 3.1 Algoritma Pengerjaan Tugas Akhir



**Gambar 3.1** Diagram Alir Tugas Akhir

Diagram alir pengerjaan tugas akhir ditunjukkan pada Gambar 3.1. Pengerjaan tugas akhir ini dimulai dengan studi literatur tentang sistem tenaga listrik terutama optimasi pembangkitan *economic dispatch* dan *economic emission dispatch* hingga ditarik kesimpulan tentang implementasi TVAC berbasis PSO dalam menyelesaikan permasalahan ED maupun EED

### 3.2 Sistem IEEE 30 Bus [5]



**Gambar 3.2** Diagram Satu Garis Sistem IEEE 30 Bus



**Tabel 3.1** Batasan pembangkitan daya pada sistem IEEE 30 Bus

Unit	Pmax (MW)	Pmin (MW)
1	200	50
2	80	20
3	50	15
4	35	10
5	30	10
6	40	12

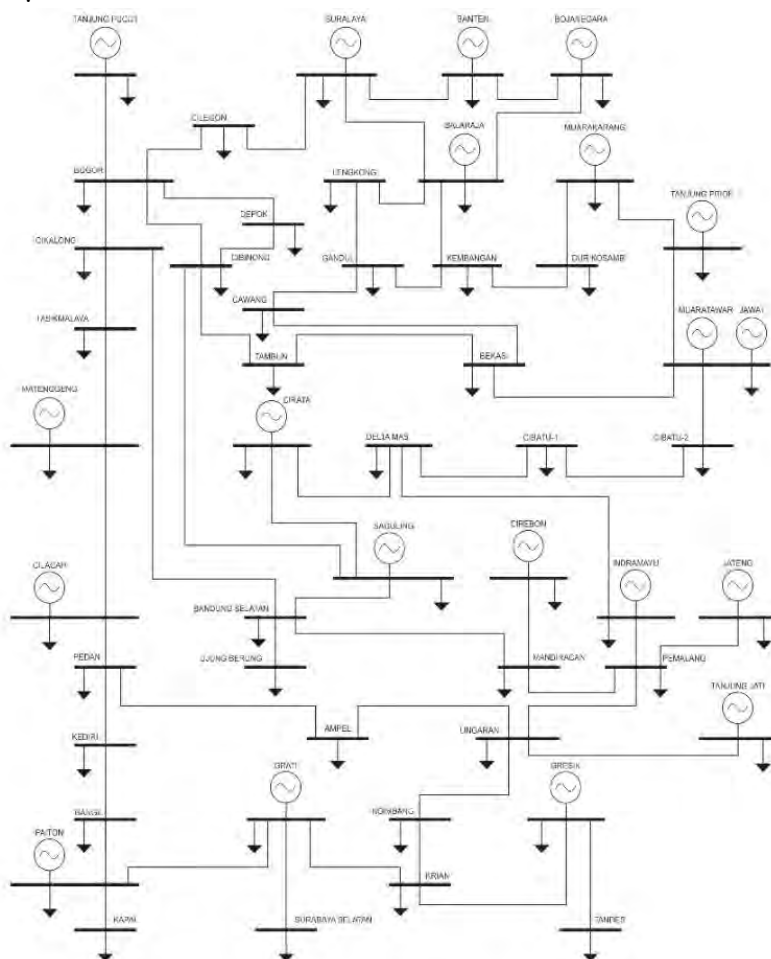
**Tabel 3.2** Fungsi biaya sistem IEEE 30 Bus

Unit	Koefisien biaya operasi		
	a	b	c
1	0,00375	2,00	0
2	0,01750	1,75	0
3	0,06250	1,00	0
4	0,00834	3,25	0
5	0,02500	3,00	0
6	0,02500	3,00	0

**Tabel 3.3** Fungsi emisii sistem IEEE 30 Bus

Unit	Koefisien biaya operasi		
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
1	0,0126	-1,1000	22,983
2	0,0200	-0,1000	22,313
3	0,0270	-0,1000	25,505
4	0,0291	-0,0050	24,900
5	0,0290	-0,0400	24,700
6	0,0271	-0,0055	25,300

### 3.3 Sistem Transmisi Jawa-Bali 500 kV, Berdasarkan RUPTL Tahun 2015-2024 [7]



**Gambar 3.3** Diagram Satu Garis Sistem Sistem Jawa-Bali 500 kV RUPTL tahun 2015-2024

**Tabel 3.4 Fungsi Biaya pada Sistem Transmisi Jawa-Bali 500 kV [6]**

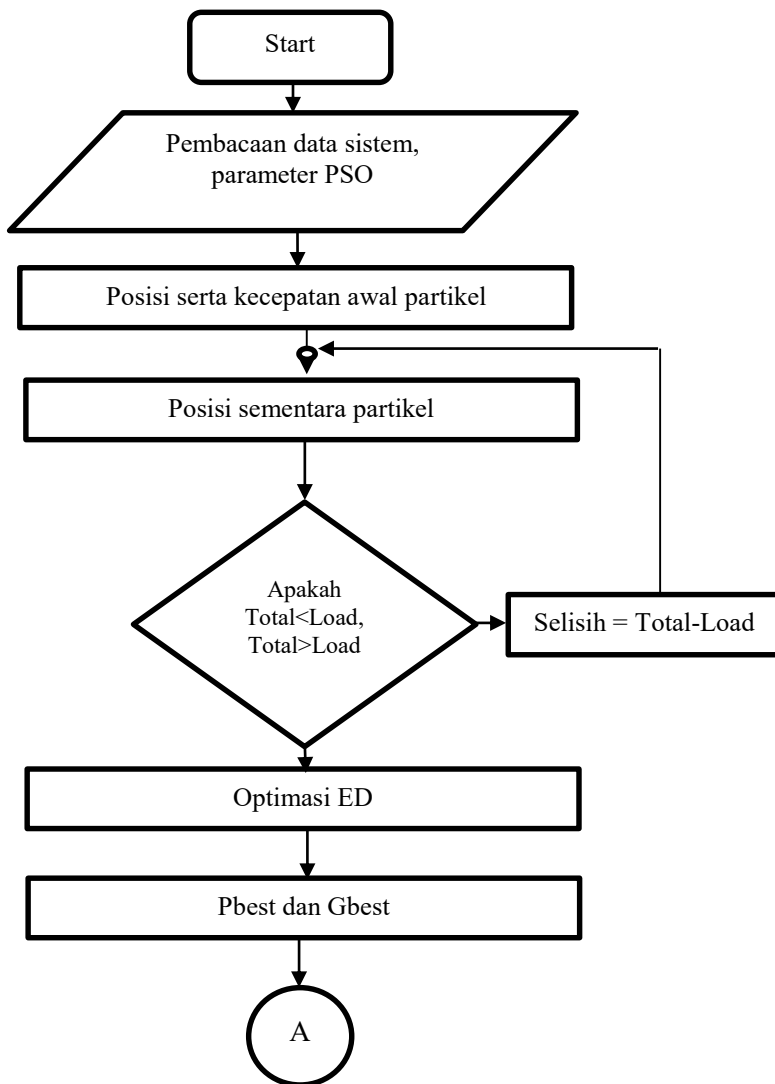
Nama Pembangkit	Nilai Koefisien			Batas	
	a	b	c	min	max
Suralaya	-400,805	3332794,4	57543208	1610	4200
Banten	123,803	982201,25	45915179	690	1725
Bojanegara	-216,776	1687044,3	26078107	800	2000
Balaraja	-216,776	1687044,3	26078107	800	2000
Muarakarang	203,72	2707932,5	66802287	848	2119
Priok	-51,779	2895112,8	175648458	1149	2872
Muaratawar	691,768	3047098,7	519353767	1080	2700
Matenggeng	223,852	771062,2	145747790	360	900
Paiton	218,287	2104641	180205528	1886	4714
Jawa 1	-198,132	1626063,2	36865968	640	1600
Cirata	0	400	0	403	1008
Saguling	0	600	0	696	1740
Cirebon	-123,97	1535364,2	49030275	824	2060
Jateng	-52,124	1745451,6	44057796	760	1900
Indramayu	551,861	1577296,5	138462968	1060	2650
Tanjung Jati	-80,972	2828349,3	133177026	1856	4640
Gresik	-73,818	5877235,4	112522922	1216	3040
T. Pucut	-108,388	2530566,4	39117160	1200	3000
Grati	203,407	2545832,5	140621313	546	1365
Rawalo	-102,233	2480952,8	110670583	1436	3589

**Tabel 3.5 Fungsi Emisi pada Sistem Transmisi Jawa-Bali 500 kV**

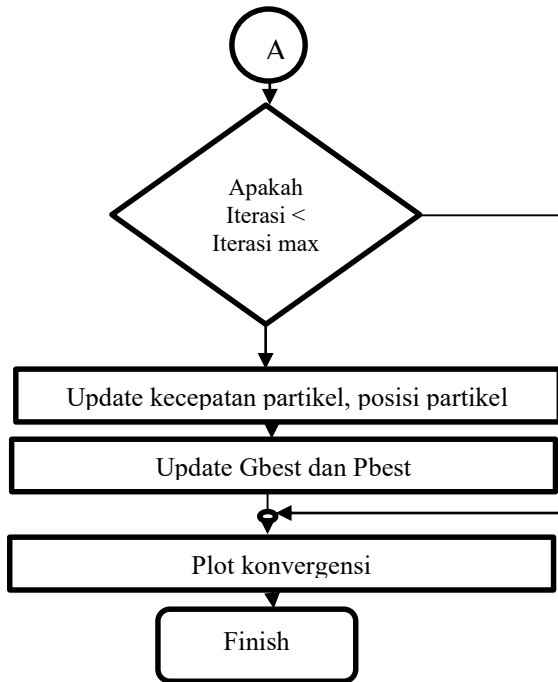
Nama Pembangkit	Nilai Koefisien		
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Suralaya	-400,805	3332794,44	57543208,49
Banten	123,803	982201,25	45915179,34
Bojanegara	-216,776	1687044,26	26078106,5
Balaraja	-216,776	1687044,26	26078106,5
Muarakarang	203,72	2707932,51	66802287,3
Priok	-51,779	2895112,78	175648457,9
Muaratawar	691,768	3047098,7	519353767,1
Matenggeng	223,852	771062,2	145747790,3
Paiton	218,287	2104640,99	180205527,9
Jawa 1	-198,132	1626063,24	36865968,36
Nama Pembangkit	Nilai Koefisien		
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Cirata	0	400	0
Saguling	0	600	0
Cirebon	-123,97	1535364,19	49030275,11
Jateng	-52,124	1745451,56	44057796,02
Indramayu	551,861	1577296,45	138462967,6
Tanjung Jati	-80,972	2828349,26	133177025,6
Gresik	-73,818	5877235,44	112522922,1
T. Pucut	-108,388	2530566,39	39117159,75
Grati	203,407	2545832,46	140621312,5
Rawalo	-102,233	2480952,82	110670582,7



### 3.4 Optimasi ED menggunakan TVAC-PSO



**Gambar 3.4** Diagram Alir Optimisasi ED TVAC-PSO

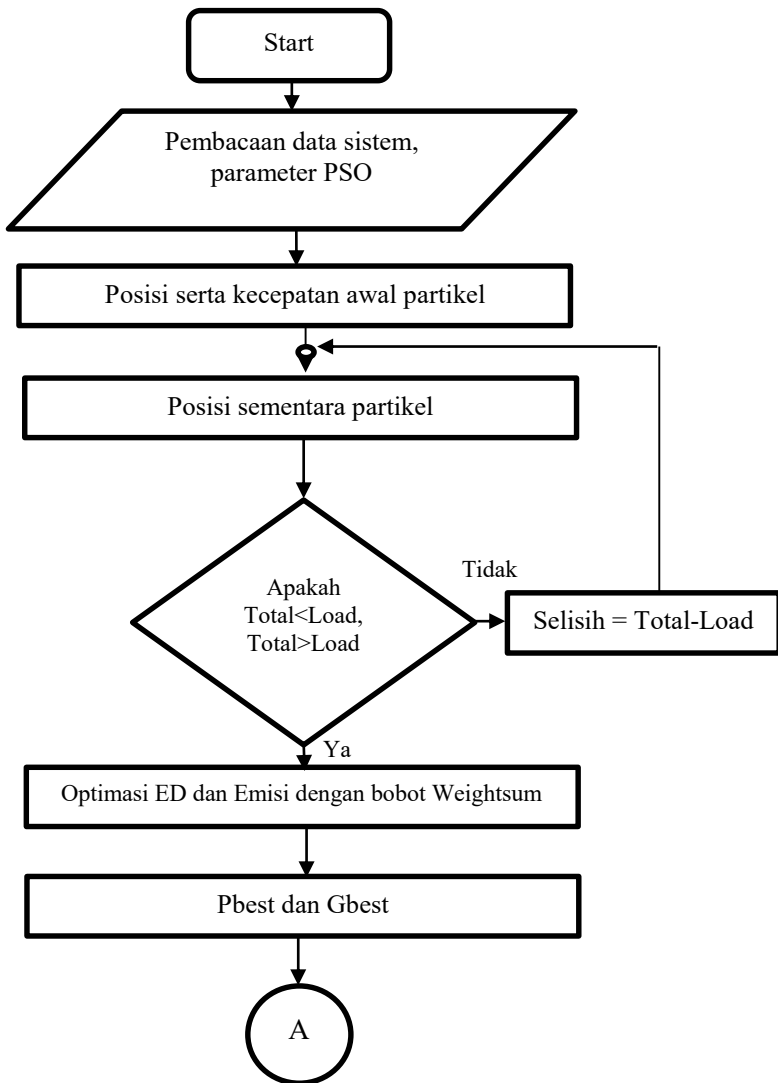


**Gambar 3.4** Lanjutan Diagram alir Optimisasi ED TVAC-PSO

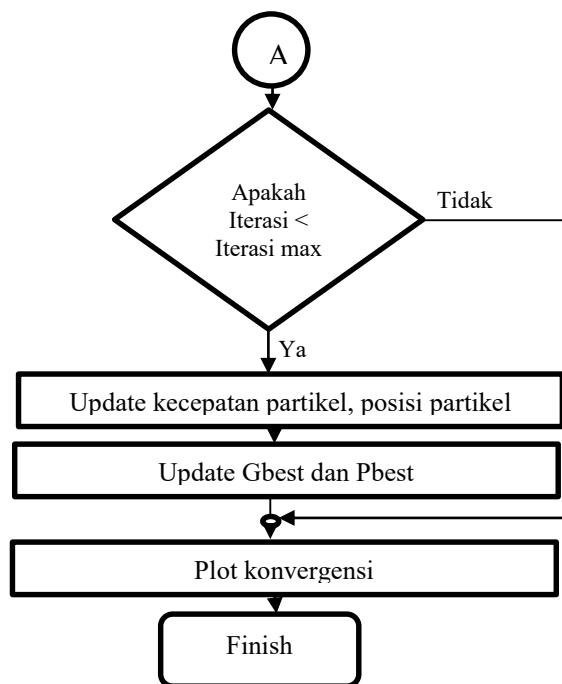
Gambar 3.4 merupakan diagram alir metode TVAC-PSO untuk menyelesaikan permasalahan ED yang bertujuan mendapatkan nilai minimum pembangkitan pada suatu sistem tenaga listrik, seperti yang telah dibahas pada bab 2 optimasi tidak memperhatikan rugi-rugi dalam hal ini kapasitas transmisi juga diabaikan. Setelah didapatkan solusi permasalahan ED, tugas akhir ini dikembangkan untuk menyelesaikan permasalahan *economic emission dispatch* (EED) hal ini mempertimbangkan bahwa banyaknya unit pembangkit termal yang digunakan dalam sistem tenaga listrik pada umumnya.

Pada sistem Jawa-Bali 500kV pada tahun 2021 direncanakan mempunyai 17 unit generator bertenaga termal. Pembahasan mengenai permasalahan EED dan bagaimana pengaplikasian metode TVAC-PSO dalam menangani permasalahan EED dapat dilihat pada subbab 3.5

### 3.5 Optimasi EED menggunakan TVAC-PSO



**Gambar 3.5** Diagram alir Optimisasi EED TVAC-PSO



**Gambar 3.5** Lanjutan Diagram Alir Optimisasi EED TVAC-PSO

Parameter TVAC-PSO yang digunakan dalam tugas akhir ini mewakili jumlah variabel atau jumlah pembangkit yang akan di optimisasi secara rinci ditunjukkan pada tabel 3.6. Gambar 3.3 menunjukkan diagram alir optimisasi EED menggunakan TVAC-PSO

**Tabel 3.6** Parameter TVAC-PSO

Jumlah partikel	170
Iterasi maksimum	500
W inersia pada kecepatan	0.75
Wc (pembobot biaya)	0 hingga 1
We (pembobot emisi)	0 hingga 1
$C_{1i}=C_{2f}= \textit{Social constant}$	2.5
$C_{1f}=C_{2i}= \textit{Cognitive constant}$	0.5



Partikel adalah sebuah himpunan yang terdiri dari variabel. Variabel adalah parameter yang akan dioptimalkan dalam tugas akhir ini. Fungsi objektif dari tugas akhir ini adalah dengan mencari biaya pembangkitan termurah dengan memperhatikan batasan-batasan yang telah ditentukan. Parameter jumlah partikel ditentukan dengan jumlah generator dalam sistem dikalikan 10, atau dengan kata lain 10 partikel akan mencari hasil optimal tiap generator hal ini ditujukan agar tingkat kemungkinan partikel mengeksplorasi hasil optimum tiap generator dalam sistem semakin besar.

Iterasi maksimal adalah banyaknya proses pengulangan yang dilakukan dalam tugas akhir ini. *Social* dan *Cognitive constant* adalah konstanta yang telah ditetapkan dalam metode pengoptimalan menggunakan algoritma *particle swarm optimization*.

Cara kerja program dalam penyelesaian permasalahan optimasi seperti dapat dilihat pada gambar 3.3, pembacaan data sistem awlanya dilakukan untuk mendapatkan parameter parameter sistem seperti nilai *cost function* tiap unit pembangkit, batas daya yang dapat dibangkitkan tiap generator serta nilai beban yang diberika kepada sistem. Inisialisasi awal terhadap parameter parameter PSO adalah langkah selanjutnya yang dilakukan, seperti nilai posisi serta kecepatan awal partikel.

Pengecekan terhadap nilai pembangkitan awal yang disusun acak oleh PSO bertujuan untuk memastikan bahwa daya yang dibangkitkan sesuai dengan beban sistem, jika terdapat selisih maka posisi partikel akan diperbarui sementara. Proses tersebut diulang hingga nilai pembangkitan sesuai dengan total beban sistem. Tahapan optimasi serta garis besar penyelesaian permasalahan ED dapat dilihat pada subbab 3.6 higgs 3.7

### 3.6 TVAC-PSO untuk Menyelesaikan ED

Pada subbab ini akan dibahas parameter serta penentuan nilai yang optimal dalam menyelesaikan permasalahan *economic dispatch* (ED)

#### 3.6.1 Inisialisasi Kecepatan

Parameter kedua yang diinisialisasi adalah kecepatan gerak partikel. Kecepatan gerak partikel didefinisikan menjadi dua yaitu kecepatan minimal dan kecepatan maksimal. Kecepatan minimum partikel adalah nol dan kecepatan maksimal partikel adalah nilai acak dari selisih batas maksimal pembangkitan dikurangi batas minimum pembangkitan. Kecepatan maksimal partikel dapat dirumuskan menjadi persamaan 3.1

$$V_{\max} = 0.5 \times (P_{\max} - P_{\min}) \quad (3.1)$$

Dimana

$V_{\max}$	= Kecepatan maksimal partikel
$P_{\max}$	= Daya maksimal pembangkitan dari tiap-tiap unit
$P_{\min}$	= Daya minimal pembangkitan dari tiap-tiap unit

### 3.6.2 Evaluasi Fitness

Evaluasi nilai *fitness* populasi adalah proses menentukan nilai *fitness* terbaik dengan memperhatikan batasan-batasan yang telah ditentukan. Batasan tersebut adalah permintaan beban, harga pembangkitan minimal dan maksimal. Partikel yang melanggar batasan yang telah ditentukan akan diberi penalti sehingga partikel tersebut tidak termasuk dalam pemilihan calon solusi. Cara yang dilakukan untuk penalti partikel yang melanggar batas adalah dengan merubah nilai *fitness* partikel tersebut menjadi nilai yang sangat besar sehingga partikel tersebut tidak termasuk dalam pemilihan calon solusi

### 3.6.3 Penentuan Posisi Terbaik Lokal dan Global

Parameter pemilihan *fitness* pada metode PSO ini didasarkan pada dua hal yaitu posisi terbaik lokal dan posisi terbaik global. Posisi terbaik lokal adalah posisi terbaik yang dimiliki oleh masing-masing partikel sedangkan posisi terbaik global adalah posisi terbaik yang dimiliki oleh kumpulan partikel tersebut.

Posisi terbaik lokal tiap partikel adalah berdasar pada total biaya pembangkitan. Jika partikel tersebut tidak melanggar batasan maka harga nilai *fitness* partikel tersebut akan menjadi posisi terbaik partikel itu sendiri.

Posisi terbaik global didapat dengan cara mencari nilai paling rendah dari kumpulan partikel yang memiliki posisi terbaik lokal sendiri. Setiap partikel akan mengevaluasi dirinya sendiri dan partikel lain dalam pencarian posisi terbaik global.

### 3.6.4 Pembaruan nilai kecepatan partikel

Proses selanjutnya dari metode ini adalah proses pembaruan kecepatan masing-masing partikel. Proses pembaruan kecepatan ini bertujuan agar metode ini dapat mencapai nilai konvergensi dalam waktu yang cepat. Setiap partikel memiliki kecenderungan tersendiri dalam menentukan pembaruan kecepatannya. Pembaruan kecepatan setiap partikel mengacu terhadap dua hal yaitu posisi terbaik lokal partikel itu sendiri atau posisi terbaik global dari keseluruhan partikel. Partikel tersebut dengan konstanta pergerakan yang diatur acak akan cenderung mendekati posisi terbaik global atau cenderung menjauhi posisi terbaik

global karena posisi terbaik global pada iterasi tertentu belum tentu akan menjadi nilai dengan fungsi objektif terbaik.

### 3.6.5 Pembatasan Pergerakan Partikel

Pada setiap transisi antara akhir iterasi dan kembali ke tahap awal iterasi partikel akan bergerak acak sehingga ada kemungkinan partikel tersebut melaju ke luar dari daerah pencarian nilai objektif terbaik. Cara yang dilakukan untuk menghindari hal tersebut adalah dengan membatasi pergerakan partikel

## 3.7 TVAC-PSO untuk Menyelesaikan permasalahan EED

Pengembangan permasalahan yang akan coba diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah pembangkitan daya listrik pada unit pembangkit termal dengan memperhatikan emisi yang dihasilkan saat pembangkit tersebut beroperasi. Pada konsepnya penyelesaian permasalahan EED seperti yang telah dibahas pada bab 2.4 sama seperti optimasi nilai biaya pembangkitan sesuai dengan persamaan matematisnya, namun dalam permasalahan *economic emission dispatch* memiliki dua fungsi objektif yaitu biaya dan emisi, persoalan ini akan diselesaikan menggunakan pembobotan dengan metode *weight sum* dan akan dibahas pada subbab 3.7.1

### 3.7.1. Multiobjective Menggunakan Metode Weight Sum

*Weight sum method* merupakan metode yang menggabungkan beberapa fungsi objektif menjadi satu kesatuan, dengan cara perkalian masing-masing fungsi objektif dengan koefisien *weight*. Nilai *weight* dari masing-masing fungsi objektif merupakan nilai yang ditentukan dari proporsi relatif dari masing-masing fungsi objektif.

Dalam hal ini kita dapat melakukan pembobotan terhadap tujuan untuk meminimalkan biaya bahan bakar dan pembobotan terhadap tujuan untuk meminimalkan emisi NOx. Bentuk umum kombinasi dari fungsi multiobjektif yang digunakan dapat dilihat pada persamaan 3.2 dan 3.3

$$F = W_C \cdot F_{CT} + W_S \cdot F_{ET} \quad (3.2)$$

$$W_C + W_S = 1 \quad (3.3)$$

Keterangan :

F	= Fungsi tujuan
$F_{ET}$	= Total emisi pembangkit-pembangkit dalam sistem (gram)
$F_{CT}$	= Total biaya bahan bakar pembangkit dalam sistem (rupiah)
$W_C$	= Bobot untuk biaya bahan bakar pembangkit dalam sistem
$W_S$	= Bobot untuk emisi pembangkit dalam sistem

Nilai *weight* suatu tujuan yang lebih besar dari nilai *weight* tujuan yang lain menunjukkan bahwa secara relatif kita lebih memprioritaskan tujuan tersebut dari tujuan yang lain.

## BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS

### 4.1 Simulasi Penyelesaian *Economic Dispatch*

Pada Tugas Akhir ini, simulasi ED menggunakan *Time varying acceleration based on* PSO (TVAC-PSO) akan dilakukan pada sistem tenaga listrik IEEE 30-bus 6 unit pembangkit sebagai bentuk validasi proTon dan dibandingkan menggunakan metode perhitungan lagrange[2] serta metode artificial intelligence lain seperti PSO standart untuk menyelesaikan permasalahan ED. Setelah itu proTon TVAC-PSO ini selanjutnya akan di simulasikan pada kasus multi objective EED pada sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV berdasarkan RUPTL tahun 2015-2024 yang merujuk single line diaTon pada tahun 2021. Simulasi dilakukan dengan jumlah partikel 170 sesuai yang dijelaskan pada bab 3 mengenai parameter proTon. Pada bagian akhir bab 4 ini dilakukan simulasi EED menggunakan TVAC-PSO untuk beban puncak sistem Jawa-Bali 500 kV tahun 2021 pada jam 19.00 WIB.

### 4.2 Simulasi ED Pada Sistem Tenaga Listrik 30-Bus

Pada bagian ini dilakukan simulasi TVAC-PSO pada sistem tenaga listrik IEEE 30-Bus dengan 6 unit generator dalam dengan beban sistem disesuaikan dengan beban pada metode lagrange [2] sebesar 283.4 MW dan dibandingkan dengan hasil optimasi menggunakan TVAC-PSO

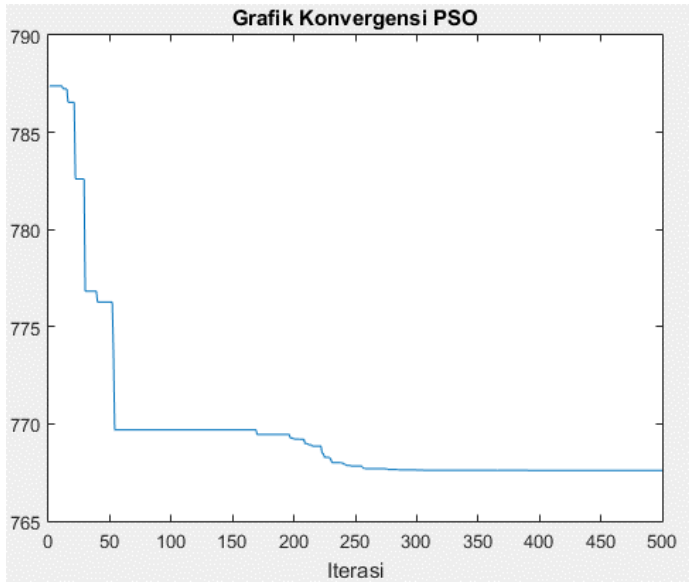
#### 4.2.1 Hasil simulasi ED pada sistem IEEE 30 Bus, 6 unit generator

Simulasi bertujuan untuk menguji metode yang digunakan dalam penelitian dengan metode matematis lagrange seperti pada tabel 4.1 dan grafik konvergensi metode dapat dilihat pada gambar 4.1

**Tabel 4.1** Hasil simulasi IEEE 30 Bus 6 Unit generator

TVAC-PSO			Lagrange
No	Biaya (\$/jam)	waktu	Biaya (\$/jam)
1	767,6233	1,873118	767,6
2	767,6043	2,65467	767,6
3	767,6224	2,136476	767,6
4	767,6085	2,098878	767,6
Rata-rata	767,6146	2,190786	767,6
Deviasi	0,009657941		





**Gambar 4.1** Grafik Konvergensi TVAC-PSO IEEE 30 Bus

Berdasarkan hasil pengujian metode pada tabel 4.1 terlihat bahwa metode TVAC-PSO mampu menghasilkan optimasi yang sesuai dengan metode matematis lagrange dalam kasus IEEE 30 bus, 6 unit generator. Simulasi yang dilakukan pada tabel 4.1 hanya mengoptimasi biaya atau penyelesaian masalah Economic Dispatch (ED)

#### 4.3 Simulasi EED pada sistem IEEE 30 Bus, 6 unit generator

Pada bagian ini akan dilakukan simulasi TVAC-PSO pada sistem tenaga listrik IEEE 30-Bus dengan 6 unit generator. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan metode TVAC-PSO dalam menyelesaikan permasalahan *multiobjective* dalam kasus ini adalah kemampuan metode untuk mengoptimalkan nilai biaya pembangkitan serta emisi yang ditimbulkan pembangkit. Simulasi akan dilakukan dengan beban 400MW dan pembobotan menggunakan metode *weightsum* seimbang 0,5 untuk biaya serta emisi

##### 4.3.1 Hasil simulasi EED pada sistem IEEE 30 Bus, 6 Unit generator

Simulasi akan dibandingkan menggunakan metode PSO konvensional dengan parameter jumlah partikel, iterasi maksimum serta inersia pada kecepatan yang sama dengan metode TVAC-PSO

**Tabel 4.2** Hasil pengujian TVAC-PSO

TVAC-PSO			
No	Biaya (\$/jam)	Emisi (Gram/jam)	Waktu (detik)
1	1.206,8341	612,8166	2,110078
2	1.101,0569	659,0796	2,089534
3	1.210,1464	644,2595	2,083248
4	1.207,4314	631,8786	2,032942
Rata-rata	1.181,3672	637,0086	2,078951
Deviasi	53,55959969	19,58974524	

**Tabel 4.3** Hasil pengujian PSO

PSO			
No	Biaya (\$/jam)	Emisi (Gram/jam)	Waktu (detik)
1	1.248,8693	616,8962	1,742875
2	1.253,0884	624,3044	2,322506
3	1.186,3738	642,8465	2,309266
4	1.285,5936	593,5385	2,612678
Rata-rata	1.243,4813	619,3964	2,246831
Deviasi	41,45696275	20,40324849	

Dari data hasil simulasi pada tabel 4.2 serta 4.3 dapat terlihat bahwa dalam menyelesaikan permasalahan *multiobjective economic and emission dispatch* kedua metode dapat menghasilkan nilai optimasi biaya pembangkitan serta nilai emisi dan metode TVAC-PSO lebih cepat menemukan konvergenitas jika dibandingkan dengan metode PSO konvensional

#### 4.4 Simulasi ED pada sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL Tahun 2015-2024

Setelah dilakukan pengujian metode dalam penyelesaian persoalan *economic dispatch* (ED) dengan sistem kelistrikan IEEE 30 bus 6 unit generator, pada subbab ini akan disimulasikan metode TVAC-PSO dalam menyelesaikan permasalahan ED dengan sistem Jawa-Bali 500 kV sesuai dengan RUPTL tahun 2015-2024 yang mengacu pada data diaTon satu garis tahun 2021 yang telah dijelaskan sebelumnya pada bab 3.3

#### 4.4.1 Hasil simulasi ED pada sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL Tahun 2015-2024

Pada subbab ini akan ditampilkan data hasil simulasi penyelesaian persoalan ED pada sistem Jawa Bali 500kV, simulasi akan dilakukan menggunakan metode TVAC-PSO dan dibandingkan dengan metode PSO konvensional.

**Tabel 4.4** Hasil simulasi menggunakan TVAC-PSO

No	Biaya (Rp/jam)	Waktu (detik)
1	79.619.175.421,9570	8,967180
2	79.651.439.644,6920	8,616027
3	79.619.175.421,9570	8,644939
4	79.847.409.725,2571	8,573739
5	79.619.175.421,9570	8,714710
Rata-rata	79.671.275.127,1640	8,703319
Deviasi	99448455,06	

**Tabel 4.5** Hasil simulasi menggunakan PSO

No.	Biaya (Rp/jam)	Waktu (detik)
1	79.847.409.725,2571	8,963152
2	80.200.519.046,5330	8,959732
3	79.847.409.725,2571	9,112008
4	79.617.705.257,5115	8,978290
5	79.847.409.725,2571	9,082658
Rata-rata	79.872.090.695,9632	9,0192
Deviasi	208808874,2	

Hasil optimasi pada tabel 4.4 dan 4.5 menunjukkan penyelesaian permasalahan ED menggunakan metode TVAC menunjukkan nilai rata-rata yang baik bila dibandingkan dengan metode PSO konvensional

#### 4.5 Simulasi EED pada sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL Tahun 2015-2024

Pada subbab ini akan disimulasikan metode TVAC-PSO dalam menyelesaikan permasalahan EED dengan sistem Jawa-Bali 500 kV sesuai dengan RUPTL tahun 2015-2024 yang mengacu pada data diaTon satu

garis tahun 2021 yang telah dijelaskan sebelumnya pada bab 3.3 simulasi akan dilakukan dengan tiga Kasus pembebanan menggunakan metode *weight sum*, hal ini bertujuan untuk melihat kemampuan metode TVAC-PSO dalam menyelesaikan permasalahan optimasi dalam tiga kasus.

#### 4.5.1 Hasil simulasi EED pada sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL Tahun 2015-2024, kasus 1

Pada sub bab ini akan memperlihatkan penyelesaian permasalahan optimasi *multi objective* menggunakan metode pembobotan *weight sum* yang diambil dengan Kasus  $W_c=1$ ,  $W_e=0$ .

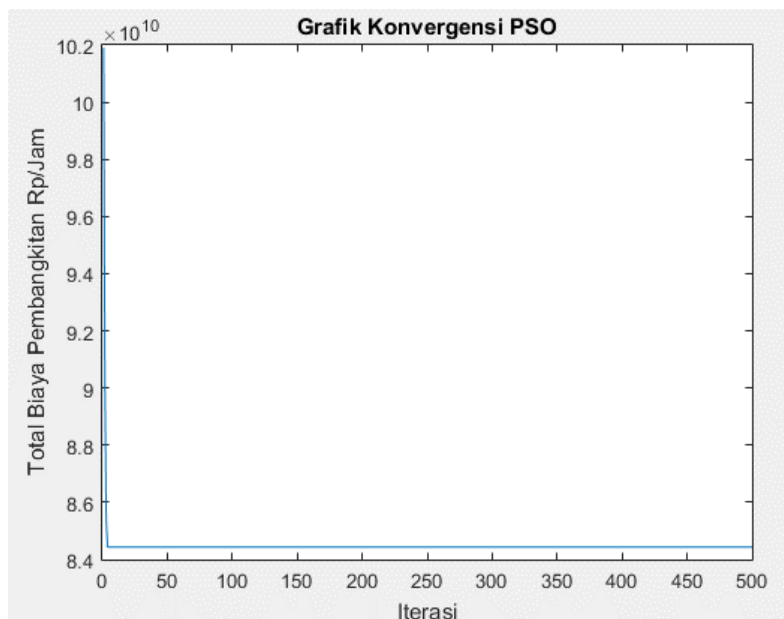
**Tabel 4.6** Hasil simulasi Kasus 1 dengan TVAC-PSO

TVAC-PSO			
No	Biaya (Rp/jam)	Emisi (Ton/jam)	Waktu (detik)
1	84.565.263.210,5425	44,577040	9,543281
2	84.431.185.962,0731	40,535451	9,364510
3	83.713.319.618,2467	41,413665	9,415086
4	84.540.812.762,5824	41,745754	9,926915
5	84.859.642.612,6440	42,674441	9,390946
Rata-rata	84.422.044.833,2177	42,189270	9,528148
Deviasi	426756409,4	1538686	

**Tabel 4.7** Hasil simulasi Kasus 1 dengan PSO

PSO			
No	Biaya (Rp/jam)	Emisi (Ton/jam)	Waktu (detik)
1	84.790.602.108,0852	40,995583	10,571502
2	86.049.436.401,5638	40,049204	11,004154
3	86.791.832.536,8953	42,893210	10,622069
4	85.276.348.780,2368	40,277261	10,720891
5	84.585.979.756,8352	39,819977	10,488892
Rata-rata	85.498.839.916,7233	40,807047	10,681502
Deviasi	916433736,8	1246688	

Tabel 4.6 dan tabel 4.7 merupakan hasil simulasi menggunakan Kasus pertama. Hasil simulasi diambil beberapa kali, hal ini ditujukan untuk melihat deviasi yang ada dalam studi kasus pertama. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan metode optimasi EED menggunakan metode TVAC-PSO menghasilkan rata-rata total biaya pembangkitan optimal sebesar Rp.84.422.044.833,2177 per jam dan dengan emisi sebesar 42,189270 Ton per jam, sedangkan apabila menggunakan metode PSO konvensional didapatkan hasil rata-rata total biaya pembangkitan optimal sebesar Rp.85.498.839.916,7233 per jam dengan emisi sebesar 40,807047 Ton per jam. Konvergensi TVAC-PSO dapat dilihat pada gambar 4.2



**Gambar 4.2** Grafik Konvergensi TVAC-PSO Kasus 1

#### **4.5.2 Hasil simulasi EED pada sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL Tahun 2015-2024, kasus2**

Pada sub bab ini akan memperlihatkan penyelesaian permasalahan optimasi *multi objective* EED menggunakan metode pembobotan *weight sum* yang diambil dengan studi kasus kedua, yaitu saat Kasus  $W_c=0.5$ ,  $W_e=0.5$  hasil optimasi dapat dilihat pada tabel 4.8 dan 4.9

**Tabel 4.8** Hasil simulasi Kasus 2 dengan TVAC-PSO

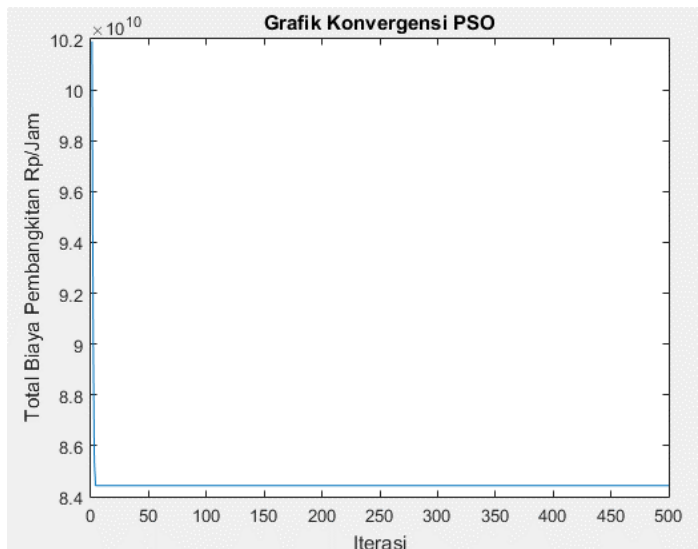
TVAC-PSO			
No	Biaya (Rp/jam)	Emisi (Ton/jam)	Waktu (detik)
1	85.717.402.270,4404	40,820551	9,5
2	85.295.913.990,3744	40,578527	9,5
3	85.687.091.874,2132	39,469205	9,6
4	86.219.673.233,3966	40,568299	9,5
5	84.490.981.530,1087	42,244488	9,5
Rata-rata	85.482.212.579,7067	40,736214	9,523609
Deviasi	643891312,6	992519	

**Tabel 4.9** Hasil simulasi Kasus 2 dengan PSO

PSO			
No	Biaya (Rp/jam)	Emisi (Ton/jam)	Waktu (detik)
1	89.203.847.672,5750	42,767259	9,5
2	84.438.332.510,2785	39,260446	9,5
3	84.436.882.952,1939	42,629307	9,7
4	88.292.731.992,0461	43,943057	9,5
5	84.834.867.189,4044	41,828662	9,6
Rata-rata	86.241.332.463,2996	42,085746	9,560000
Deviasi	2316771883	1750566	

Tabel 4.8 dan tabel 4.9 merupakan hasil simulasi menggunakan Kasus kedua. Hasil simulasi diambil beberapa kali, hal ini ditujukan untuk melihat deviasi yang ada dalam studi kasus kedua. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode optimasi TVAC-PSO dapat menghasilkan rata-rata total biaya pembangkitan optimal sebesar Rp.85.482.212.579,7067 per jam dan dengan emisi sebesar 40,736214 Ton per jam, sedangkan apabila menggunakan metode PSO konvensional didapatkan hasil rata-rata total biaya pembangkitan optimal sebesar Rp.86.241.332.463,2996 per jam dengan emisi sebesar 42,085746 Ton per jam. Grafik konvergensi TVAC-PSO dapat dilihat pada gambar 4.3





**Gambar 4.3** Grafik konvergensi TVAC-PSO Kasus 2

#### 4.5.3 Hasil simulasi EED pada sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL Tahun 2015-2024, kasus3

Pada sub bab ini akan memperlihatkan penyelesaian permasalahan optimasi *multi objective* menggunakan metode pembobotan *weight sum* yang diambil dengan studi kasus ketiga, yaitu saat Kasus  $W_c=0$ ,  $W_e=1$

**Tabel 4.10** Hasil simulasi Kasus 3 dengan TVAC-PSO

TVAC-PSO			
No	Biaya (Rp/jam)	Emisi (Ton/jam)	Waktu (detik)
1	88.694.646.600,7888	40,518128	11
2	89.072.426.531,6068	40,056273	11
3	87.496.720.383,7839	39,568709	10
4	85.592.975.892,2577	41,381871	11
5	85.570.127.963,9947	41,151839	10
Rata-rata	87.285.379.474,4864	40,535363	10,600000
Deviasi	1660613864	751808	

**Tabel 4.11** Hasil simulasi Kasus 3 dengan PSO

PSO			
No	Biaya (Rp/jam)	Emisi (Ton/jam)	Waktu (detik)
1	87.453.406.583,1600	40,517624	11
2	89.094.802.129,3140	45,025330	11
3	88.805.080.908,6351	40,903907	11
4	88.224.250.059,2895	40,552463	11
5	89.602.310.042,7562	41,242323	10
Rata-rata	88.635.969.944,6310	41,648333	10,800000
Deviasi	827784399	1910664	

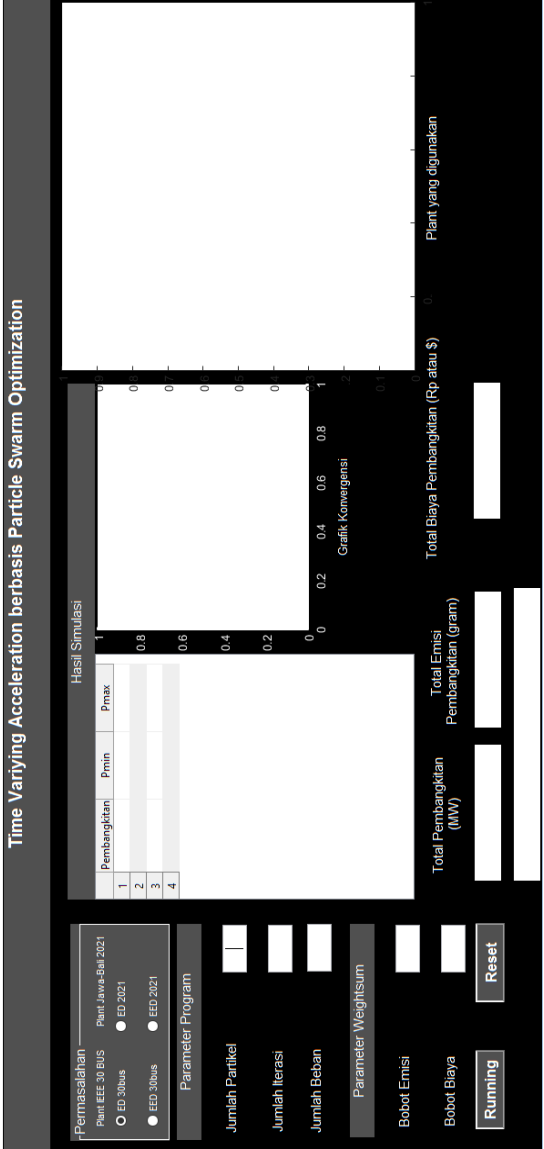
Tabel 4.10 dan tabel 4.11 merupakan hasil simulasi menggunakan Kasus ketiga. Hasil simulasi diambil beberapa kali, hal ini ditujukan untuk melihat deviasi yang ada dalam studi kasus ketiga. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode optimasi TVAC-PSO menghasilkan rata-rata total biaya pembangkitan optimal sebesar Rp.87.285.379.474,4864 per jam dan dengan emisi sebesar 40,535363 Ton per jam, sedangkan apabila menggunakan metode PSO konvensional didapatkan hasil rata-rata total biaya pembangkitan optimal sebesar Rp. 88.635.969.944,6310 per jam dengan emisi sebesar 41,648333 Ton per jam.

#### 4.6 Biaya Pembangkitan dan Besar Emisi

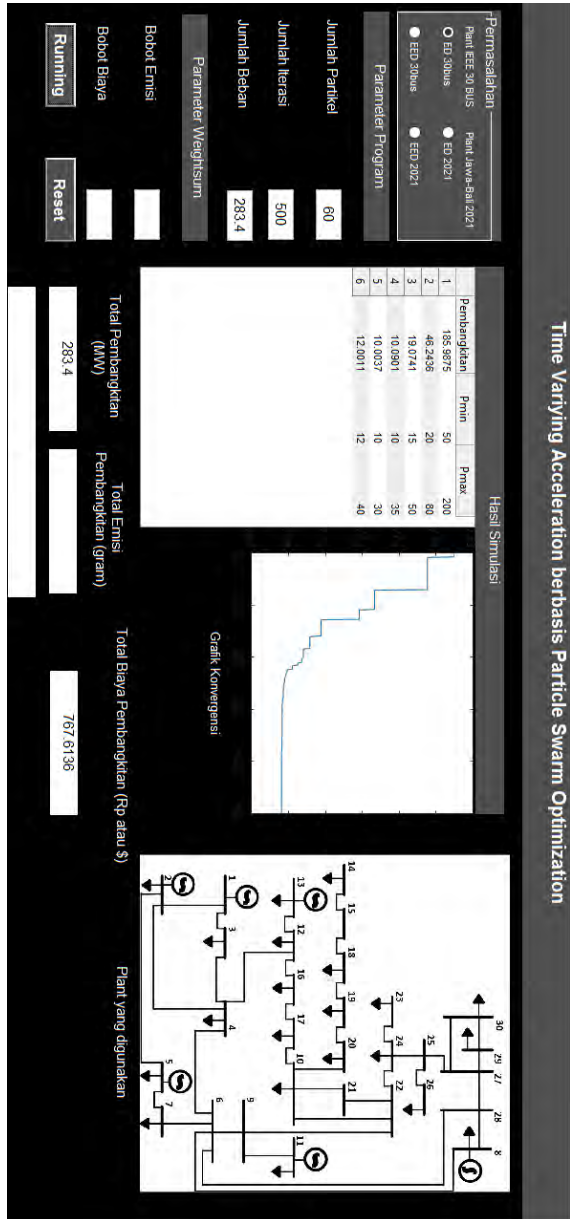
Dari hasil simulasi menggunakan TVAC-PSO pada sistem jaringan JawaBali 500kV mengacu pada diaTon satu garis tahun 2021 dengan tiga Kasus pembobotan menggunakan metode *weightsum* dapat dilihat pada sub bab 4.5.1 hingga 4.5.3, pada kasus pertama hanya memprioritaskan pengoptimalan total biaya pembangkit daripada menurunkan nilai emisi. Pada kasus kedua pengoptimalan direncanakan secara seimbang antara biaya pembangkitan dan emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran pembangkit. Pada kasus ketiga hanya memprioritaskan pada upaya mengoptimalkan atau mengurangi nilai emisi yang dihasilkan oleh pembangkit daripada pengoptimalan biaya pembangkitan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

LAMPIRAN

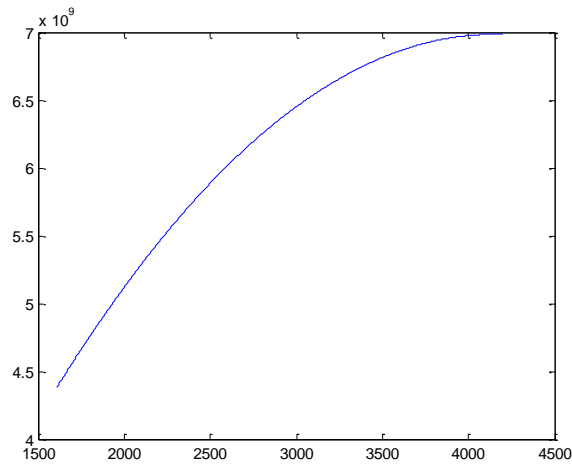


Gambar 1. Tampilan antarmuka program TVAC-PSO

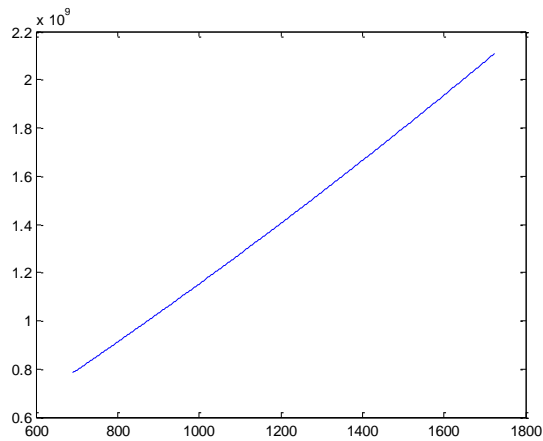


**Gambar 2.** Tampilan hasil uji antarmuka program TVAC-PSO

Kurva *Cost Function*

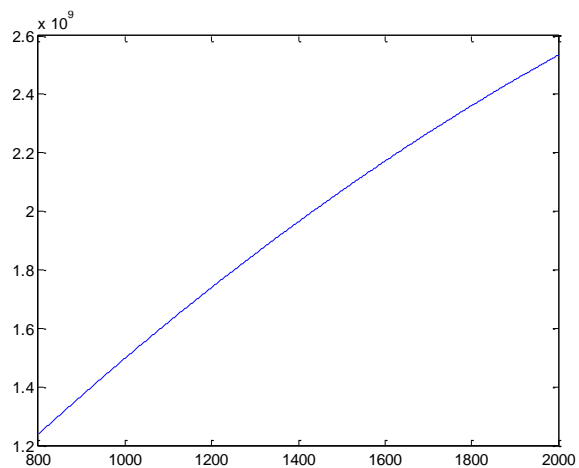


**Gambar 3.** Kurva Cost Function Unit Suralaya

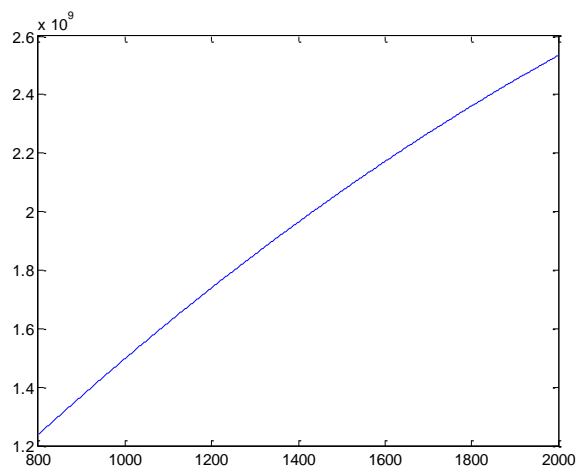


**Gambar 4.** Kurva Cost Function Unit Banten

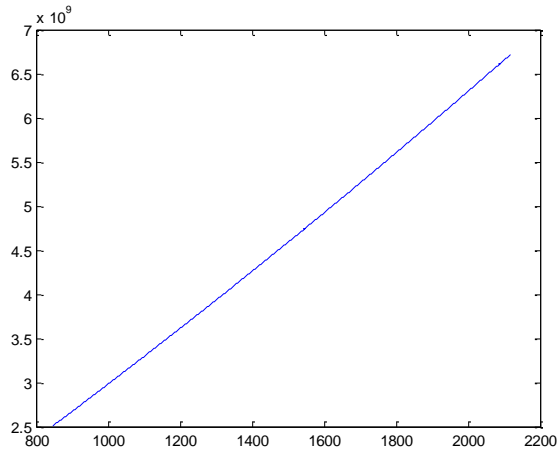




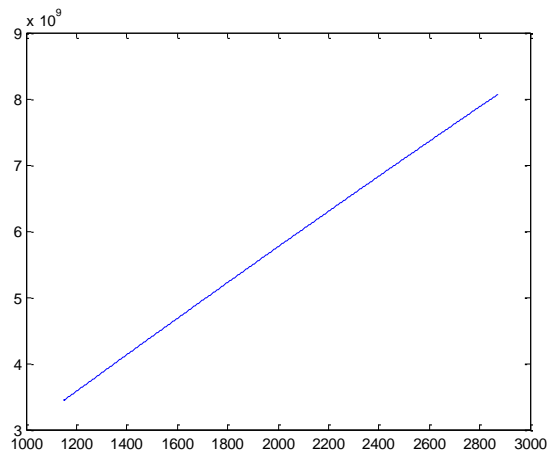
**Gambar 5.** Kurva Cost Function Unit Bojanegara



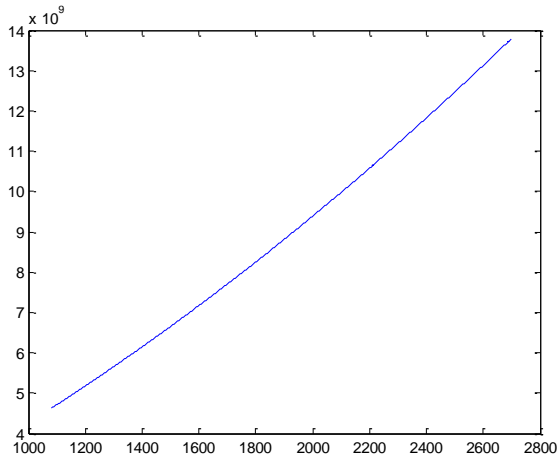
**Gambar 6.** Kurva Cost Function Unit Balaraja



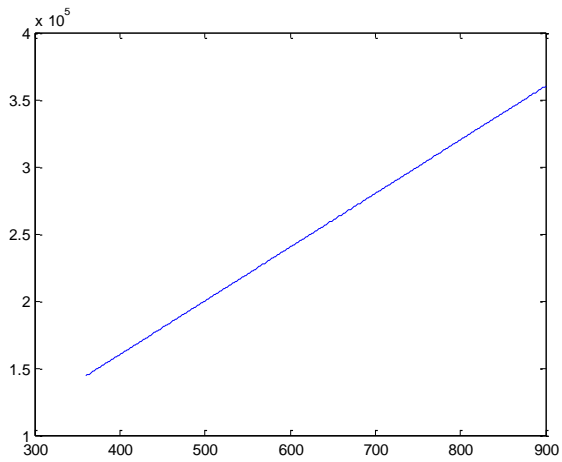
**Gambar 7.** Kurva Cost Function Unit Muarakarang



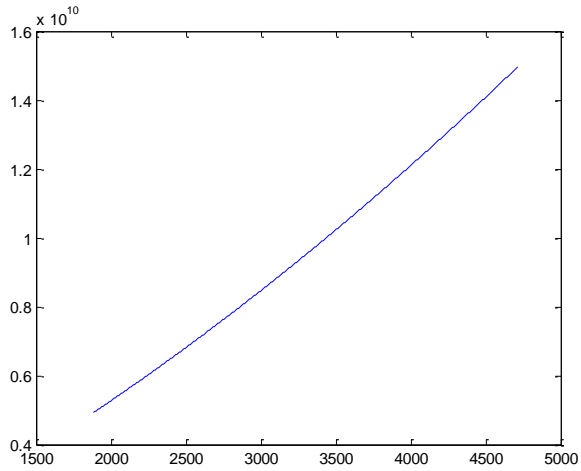
**Gambar 8.** Kurva Cost Function Unit Priok



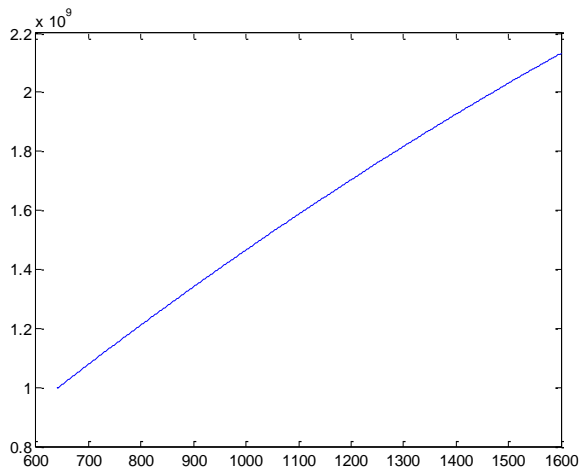
**Gambar 9.** Kurva Cost Function Unit Muaratawar



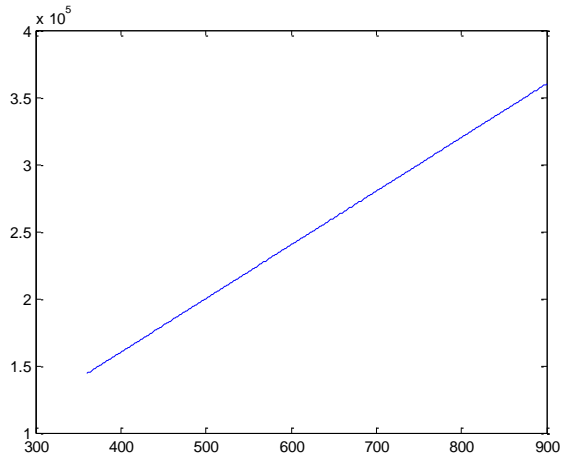
**Gambar 10.** Kurva Cost Function Unit Matenggeng



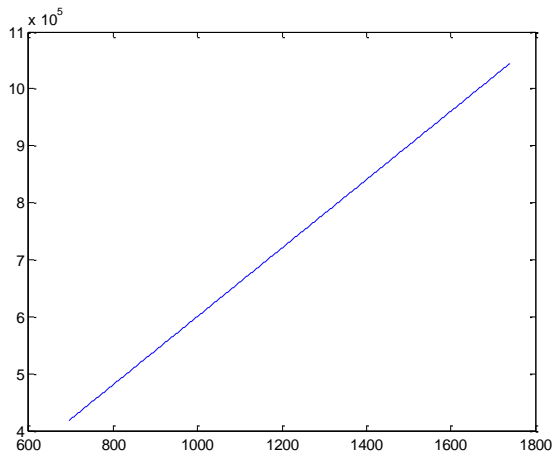
**Gambar 11.** Kurva Cost Function Unit Paition



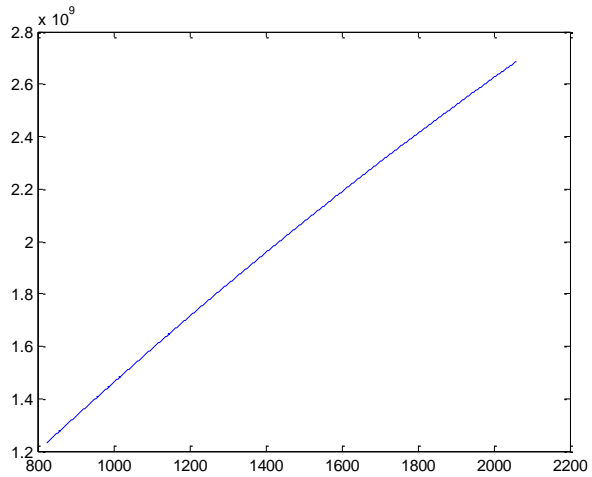
**Gambar 12.** Kurva Cost Function Unit Jawa 1



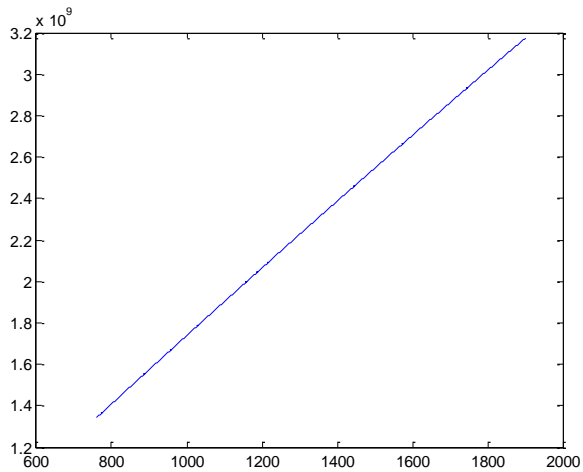
**Gambar 13.** Kurva Cost Function Unit Cirata



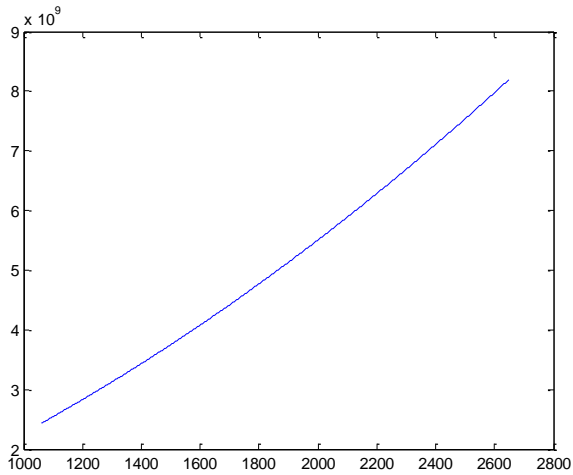
**Gambar 14.** Kurva Cost Function Unit Saguling



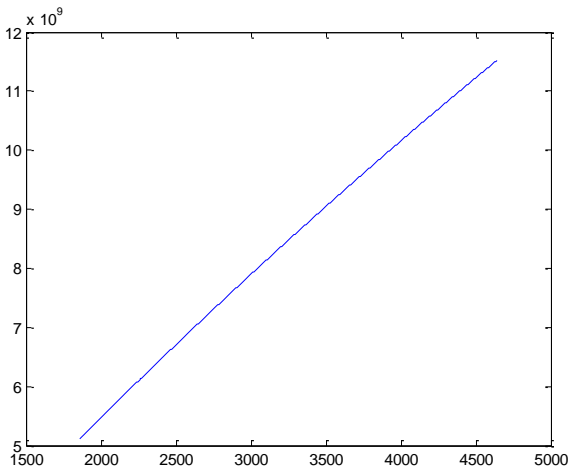
**Gambar 15.** Kurva Cost Function Unit Cirebon



**Gambar 16.** Kurva Cost Function Unit Jateng

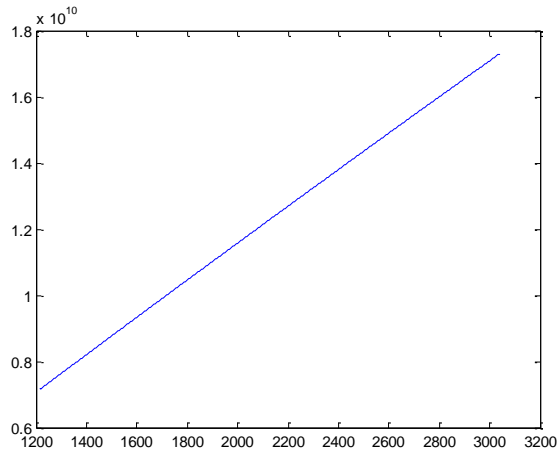


**Gambar 17.** Kurva Cost Function Unit Indramayu

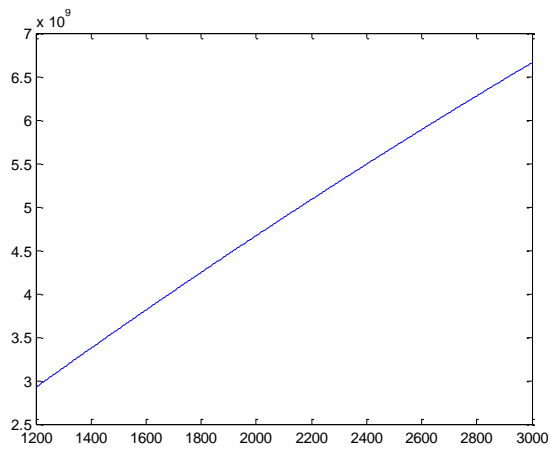


**Gambar 18.** Kurva Cost Function Unit Tanjung Jati

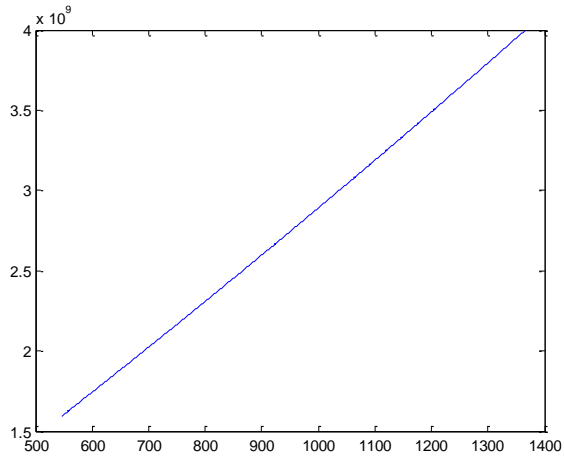




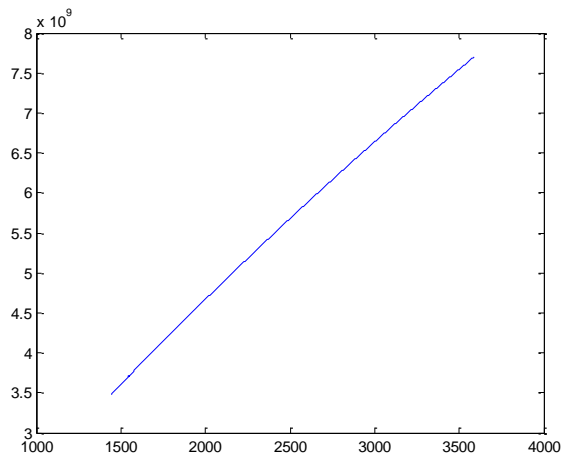
**Gambar 19.** Kurva Cost Function Unit Gresik



**Gambar 20.** Kurva Cost Function Unit Tanjung Pucut

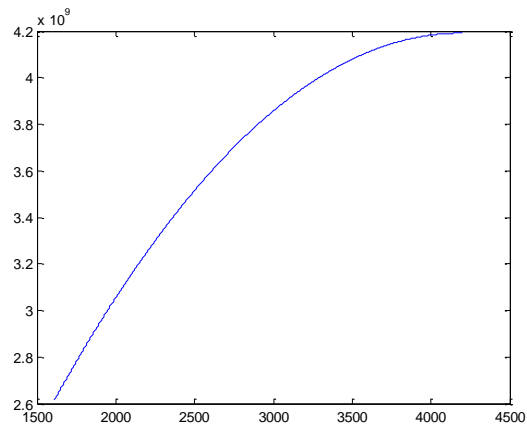


**Gambar 21.** Kurva Cost Function Unit Grati

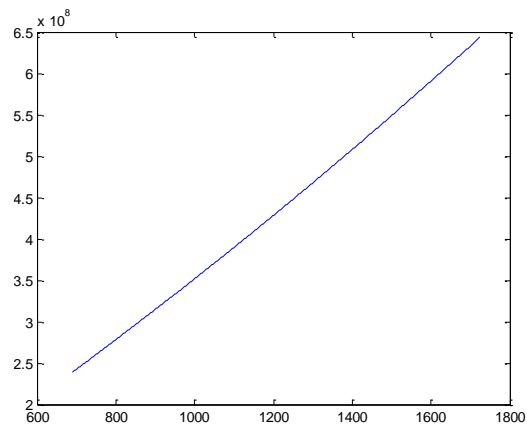


**Gambar 22.** Kurva Cost Function Unit Cilacap

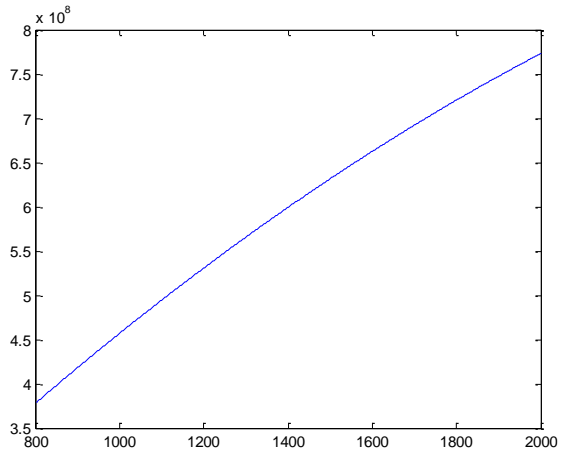
Kurva *Emission Function*



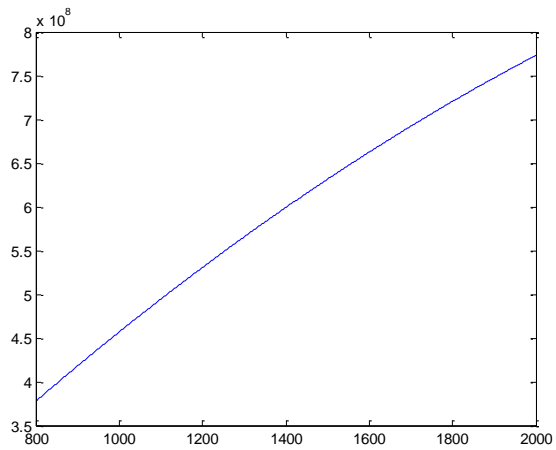
**Gambar 23.** Kurva *Emission Function* Unit Suralaya



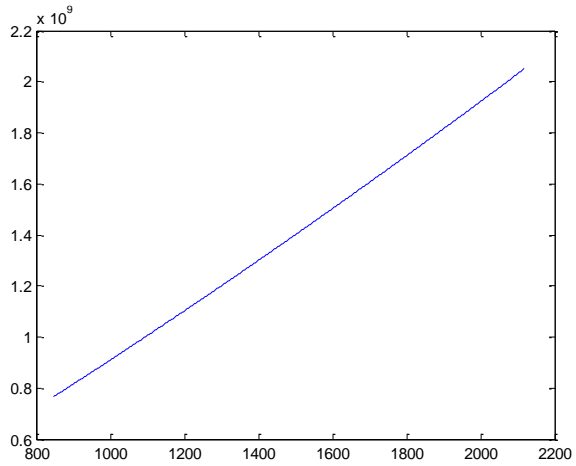
**Gambar 24.** Kurva *Emission Function* Unit Banten



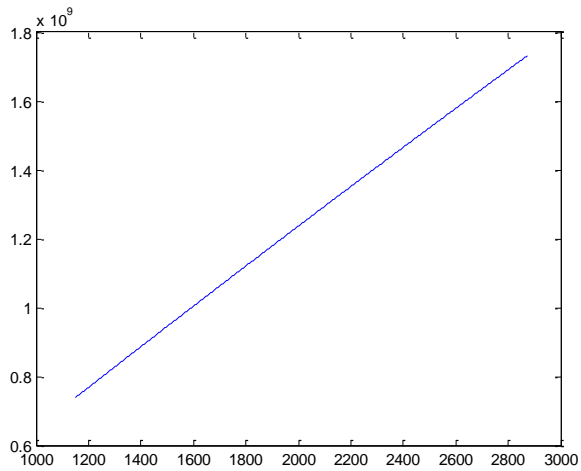
**Gambar 25.** Kurva *Emission Function* Unit Bojanegara



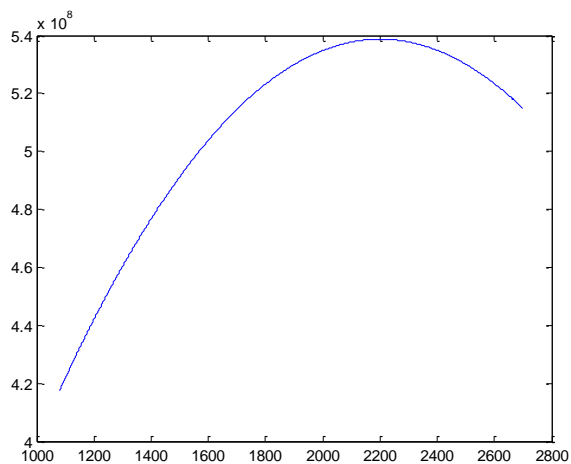
**Gambar 26.** Kurva *Emission Function* Unit Balaraja



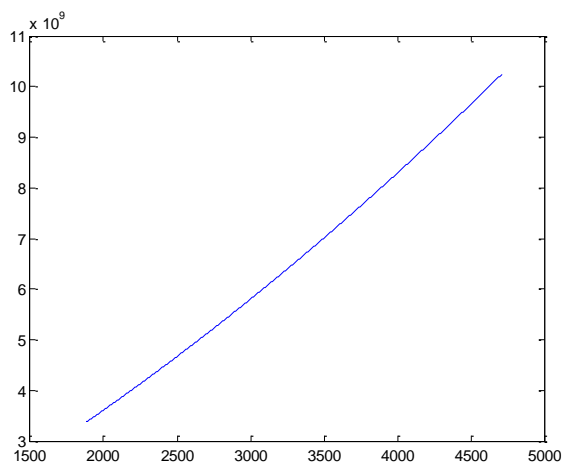
**Gambar 27.** Kurva *Emission Function* Unit Muarakarang



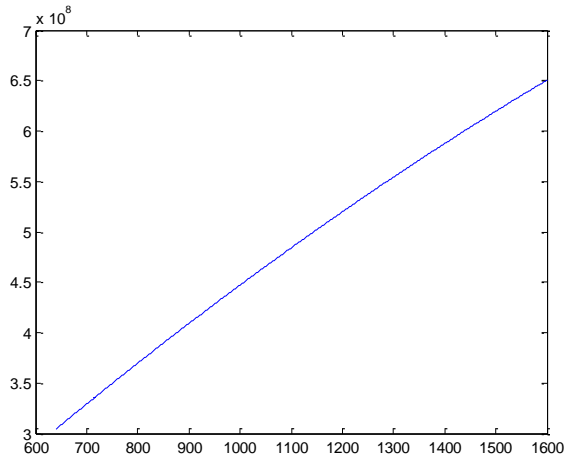
**Gambar 28.** Kurva *Emission Function* Unit Priok



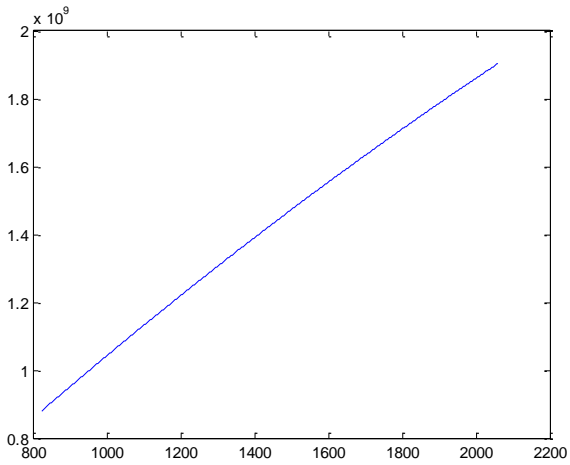
**Gambar 29.** Kurva *Emission Function* Unit Muaratawar



**Gambar 30.** Kurva *Emission Function* Unit Paiton

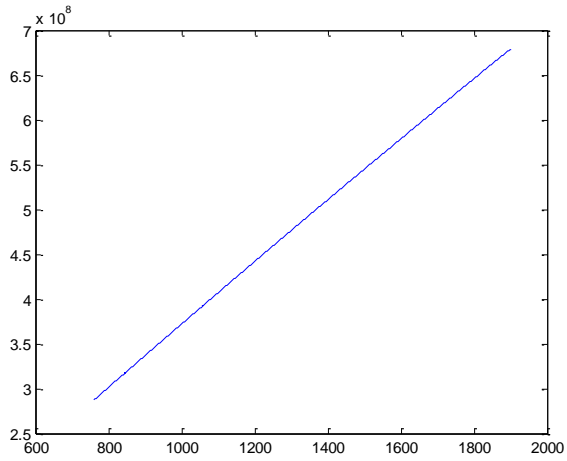


**Gambar 31.** Kurva *Emission Function* Unit Jawa 1

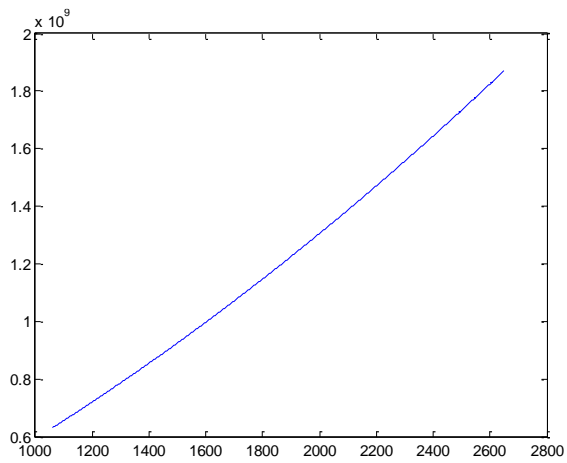


**Gambar 32.** Kurva *Emission Function* Unit Cirebon

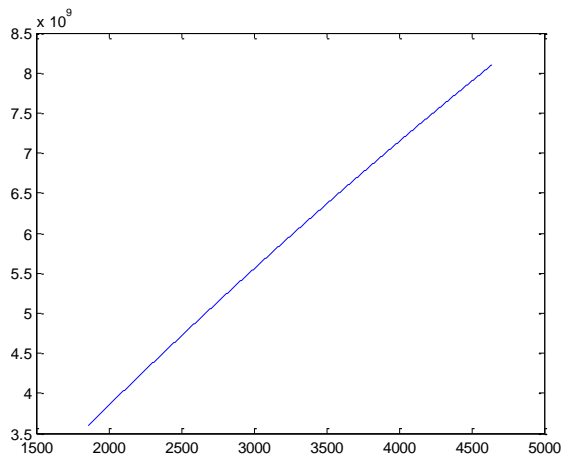




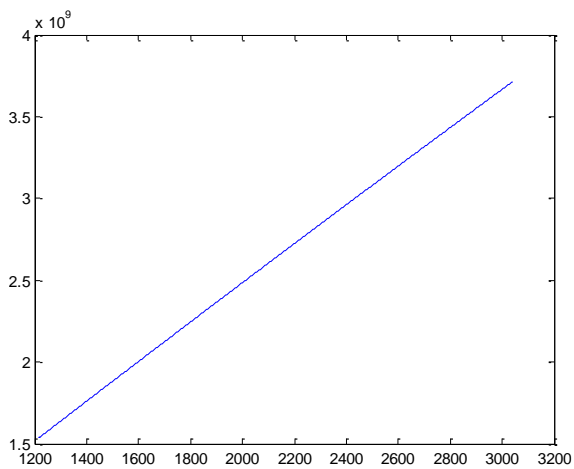
**Gambar 33.** Kurva *Emission Function* Unit Jateng



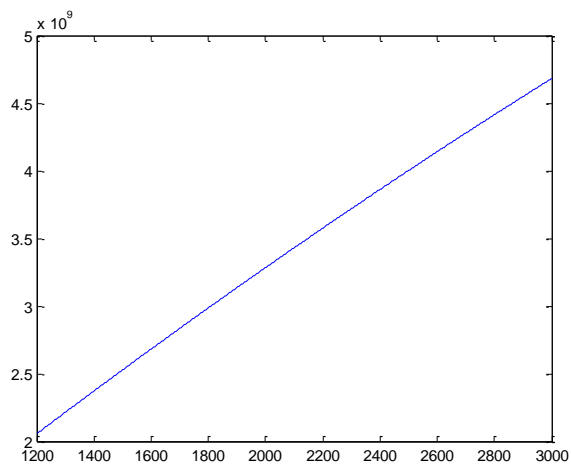
**Gambar 34.** Kurva *Emission Function* Unit Indramayu



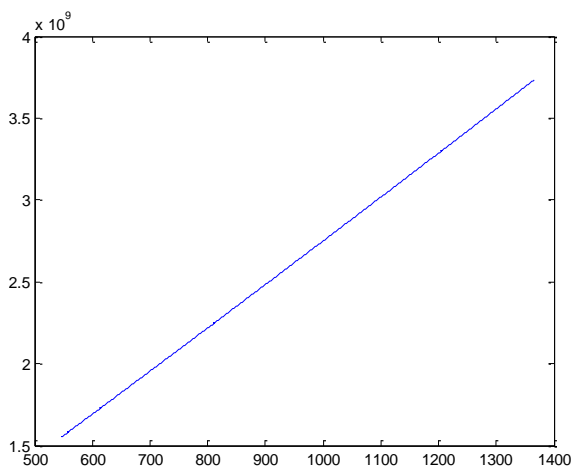
**Gambar 35.** Kurva *Emission Function* Unit Tanjung Jati



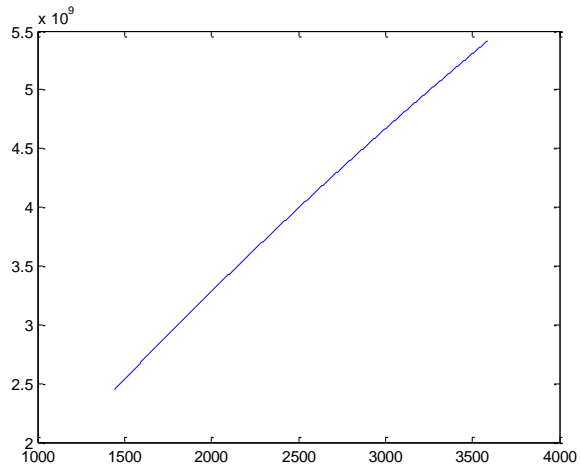
**Gambar 36.** Kurva *Emission Function* Unit Gresik



**Gambar 37.** Kurva *Emission Function* Unit Tanjung Pucut



**Gambar 38.** Kurva *Emission Function* Unit Grati



**Gambar 39.** Kurva *Emission Function* Unit Cilacap

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

***Halaman ini sengaja dikosogkan***

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari hasil simulasi dan analisa hasil simulasi terhadap permasalahan *Economic Dispatch* (ED) maupun permasalahan *multiobjective Economic Emission Dispatch* (EED) dalam sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV berdasarkan RUPTL tahun 2015-2024 dengan menggunakan perkiraan pembebanan tahun 2021 pukul 19.00WIB, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- a. Berdasarkan hasil simulasi untuk permasalahan *Economic Dispatch* (ED) maupun *Economic Emission Dispatch* (EED) maka besar daya yang dibangkitkan oleh masing-masing pembangkit tergantung dari :
  1. Kurva karakteristik Input-Output pembangkit
  2. Harga bahan bakar pembangkit
  3. Besar emisi  $\text{NO}_x$  tiap pembangkit
- b. Penggunaan metode *weight sum* bertujuan untuk mencari hasil optimasi pembangkitan yang memiliki fungsi tujuan lebih dari satu sesuai dengan prioritasnya, dalam hal ini fungsi *economic* dan emisi. Nilai bobot yang besar menunjukkan prioritas optimasi, bila ingin memperoleh nilai emisi serta biaya pembangkitan yang sebanding, dapat digunakan bobot 0,5 untuk masing masing tujuan.
- c. Dari hasil simulasi optimasi ED maupun EED menggunakan TVAC-PSO menunjukkan bahwa metode ini lebih unggul dari PSO konvensional, selain menunjukkan waktu konvergen yang relatif lebih cepat.

#### **5.2. Saran**

- a. Pada tugas akhir ini penyelesaian permasalahan ED dan EED menggunakan kecerdasan buatan berbasis PSO yang menunjukkan variasi hasil optimasi, hal tersebut dapat diminimalkan dengan pengembangan metode kecerdasan buatan yang lebih adaptif
- b. Tugas akhir ini dapat dikembangkan dengan data emisi sesuai data praktikal sehingga dapat sesuai dengan kondisi lapangan

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Allen J. Wood & Bruce F. Wollenberg. "Power Generation Operation and Control 2<sup>nd</sup> Edition". John Wiley & Sons, Inc 1996
- [2] Saadat, Hadi. "Power System Analysis". McGraw Hill. 1999
- [3] Hamed, M, B.Mahdad, K. Srairi, N. Mancor. "Solving combined economic emission dispatch problem using time varying acceleration based PSO" IEEE. Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2012 11th International Conference, Venice
- [4] Boubakeur Hadji, Belkace Mahdad, Kamel Srairi, Nabil Mancor. "Multi-Objective PSO-TVAC for Environmental/Economic Dispatch Problem". ELSEVIER. Energy Procedia Energy Procedia 74 ( 2015 ) 102 – 111
- [5] Ontoseno Penangsang, "Diktat Kuliah Operasi Optimum Sistem Tenaga Listrik", Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS.
- [6] IEEE 30 Bus
- [7] PT. PLN P3B Jawa-Bali
- [8] RUPTL PLN tahun 2015-2024

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Tommy Andre Oktawijaya dilahirkan di Surabaya pada Tahun 1993. Penulis memulai pendidikan di SDN Simokerto II/135 Surabaya dan melanjutkan pendidikan SMPN 37 Surabaya dan SMA Trimurti Surabaya. Pada tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan jenjang Diploma di D3 Teknik Elektro ITS dengan konsentrasi bidang studi Teknik Elektro Komputer Kontrol. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan untuk jenjang sarjana. Pendidikan sarjana ditempuh di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di jurusan teknik elektro dengan konsentrasi bidang studi Sistem Tenaga.